

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme
Le Moudjahid Hocine Aït Ahmed
Laboratoire Ville, Urbanisme et Développement Durable (VUDD)



THESE DE DOCTORAT EN SCIENCES
Spécialité : Architecture et Environnement

BOUKARTA Soufiane

Déterminants de la forme urbaine générant le potentiel de maîtrise de l'énergie en zone semi-aride.

Application sur le cas de Djelfa en Algérie

Thèse dirigée par le Professeur BEREZOWSKA-AZZAG Ewa

Soutenue publiquement le 25/04/2019

Membres de jury :

M	BAOUNI Tahar	Professeur	EPAU, Alger	Président
M^{me}	BOURBIA Fatiha	Professeur	Université de Constantine	Examinatrice
M	SEMMAR Djafar	Professeur	Université de Blida	Examineur
M	OUISSI Nabil	Professeur	Université de Tlemcen	Examineur
M^{me}	DJIAR Kahina	Maitre de conférences A	EPAU, Alger	Examinatrice
M^{me}	BEREZOWSKA-AZZAG Ewa	Professeur	EPAU, Alger	Directrice de thèse

Remerciements

Arrivant au terme de ma recherche, je voudrai remercier toutes les personnes qui m'ont soutenu, encouragé et aidé dans la préparation de la thèse. En premier lieu, je ne saurai point remercier, à sa juste valeur, ma directrice de thèse, le Professeur BEREZOWSKA-AZZAG. Qu'elle trouve dans ces mots ma profonde gratitude et mes vifs remerciements en espérant que ce travail matérialise ses conseils, ses orientations et encouragements tout au long de la préparation de la thèse.

Je tiens aussi à exprimer mes remerciements à toutes les personnes qui m'ont aidé et en particulier, à Djelfa, alors qu'au moment de mon arrivée à cette ville, je ne connaissais personne, mais aujourd'hui, je ne saurai pas compter mes amis *Djelfaoui*, c'est bien même l'étoffe de la vie. Merci à Kamel Amraoui, Imed Taleb, Omar Guessab, Bakhti, Ali Soukehal et son père, le chef du département de l'Aménagement du Territoire de l'Université de Djelfa, le Directeur de la Sonelgaz de la wilaya de Djelfa et la Directrice des ressources humaines, le personnel de la DUC de Djelfa, et *Ammi* Ahmed de l'URBAT de Djelfa ainsi qu'à toutes les personnes qui m'ont aidé à Djelfa. Qu'ils trouvent tous, ici, mes remerciements pour l'hospitalité et l'aide précieuse qu'ils m'avaient apportée.

Aussi, je tiens à remercier les personnes qui m'ont accueilli pendant mes stages aux laboratoires, ABC de l'ENSA de Marseille et LEMA de l'Université de Liège. Un grand merci au Professeur Marc-André Dabat et Sigrid Reiter ainsi qu'à Ahmed Mustafa et Ismaïl Saadi.

Je tiens aussi à exprimer mes remerciements aux directeurs de l'Institut d'Architecture et d'Urbanisme de l'Université de Blida, Madame Foufa et Monsieur Ait-Saadi pour leurs aides et encouragements.

Enfin, je remercie ma famille, et à sa tête, mes parents qui ont toujours été là pour m'encourager et soutenir, et ainsi que mes frères et sœur et en particulier Mounir qui me motivait à chaque appel ou rencontre. Je remercie particulièrement mon épouse qui m'a soutenu et encouragé quotidiennement tout au long de ce travail et qui a fait preuve d'une grande compréhension quant à mes longues périodes d'occupation avec la thèse. *Last but not least*, je remercie mon fils Mohamed Amir qui a su m'encourager à sa façon.

RESUME

Pour diminuer les risques environnementaux induits par le phénomène des changements climatiques causés par la consommation des énergies fossiles et les émissions de gaz à effet de serre qui en découlent, la communauté internationale s'est unie autour de deux grands objectifs, de l'atténuation et de l'adaptation, à atteindre conformément aux feuilles de route adoptées lors des sommets mondiaux consacrés au climat. La politique énergétique de chaque pays participant et signataire des accords a été alors présentée à travers des engagements nationaux. L'Algérie oriente notamment sa politique énergétique sur deux grands axes : l'introduction progressive des énergies renouvelables dans les secteurs identifiés comme grands consommateurs et la mise en œuvre d'une efficacité énergétique. La ville, à la fois source des émissions des GES et acteur actif de la politique d'adaptation, est la principale cible visée par cette dernière préoccupation, qui est au centre de la problématique de la présente thèse à travers le concept de maîtrise de l'énergie.

Aujourd'hui, cependant, non seulement les orientations principales de la politique énergétique nationale en Algérie ne sont pas encore traduites par des dispositions spécifiques aux différentes échelles locales, mais elles visent presque exclusivement le bâtiment ou alors les moyens de mobilité considérés individuellement. Il semble pourtant que ces actions (entre autres isolation de l'enveloppe, chauffe-eau-solaire, tarification de la consommation, GPL pour les voitures) ne pourront à elles seules répondre aux enjeux énergétiques. L'urbanisme se présente alors comme un outil plus complet, en termes d'échelle et des moyens d'action, pouvant structurer la politique énergétique à travers la gestion de la forme urbaine, comprise comme un système structuré et structurant les pratiques de consommation d'énergie par les ménages, induites par les deux secteurs grands consommateurs de l'énergie en ville, le bâtiment et la mobilité. En s'inscrivant dans cette optique, la présente thèse propose une démarche de recherche à travers laquelle la portée énergétique des déterminants de la forme urbaine, identifiés par modélisation systémique, est examinée en vue d'ouvrir le champ des possibilités potentielles de réduction de la consommation énergétique en milieu urbain.

La démarche proposée est appliquée sur le cas de la ville de Djelfa en Algérie, appartenant à la zone semi-aride des Hauts-Plateaux destinée à l'urbanisation future selon les orientations du SNAT, Schéma National de l'Aménagement du Territoire, afin d'équilibrer la distribution spatiale de la population. Les résultats obtenus, sous forme de modèles et tableaux de bord présentant la capacité d'amélioration énergétique portée par les déterminants de la forme urbaine liés au bâtiment et à la mobilité résidentielle en zone semi-aride, ouvrent la voie vers l'extension de la démarche aux autres villes et contextes géo-climatiques en Algérie. La possibilité d'intégration des résultats ainsi obtenus aux instruments d'urbanisme locaux sous forme des orientations réglementaires adaptées, ayant pour objectif l'aide à la maîtrise d'œuvre urbaine (conception) et à la maîtrise d'ouvrage urbaine (évaluation, planification et gestion), apparaît alors comme le moyen apte à répondre aux objectifs de maîtrise de l'énergie en milieux urbains, afin de concrétiser les engagements de la politique énergétique nationale.

Mots-clés : Forme urbaine, Energie, Modélisation systémique, Facteurs déterminants, Zone semi-aride, Djelfa

ABSTRACT

In order to reduce the environmental risks of climate change caused by the consumption of fossil fuels and the resulting greenhouse gas emissions, the international community has come together around two main objectives, mitigation and adaptation, to be achieved in accordance with the roadmaps adopted at the World Climate Summits. The energy policy of each participating and signatory country was then presented as National Commitments. Algeria concentrates its energy policy on two main axes: the gradual introduction of renewable energies in sectors identified as major consumers and the implementation of energy efficiency. The city, as a source of GHG emissions and an active player in adaptation policy, is the main target of this last concern, which is also at the central issue of this thesis through the concept of energy management.

Today, the main orientations of national energy policy in Algeria are not yet translated into specific tools and methods at different local scales, and they are almost exclusively designed for buildings and means of transport. However, it seems that these actions (insulation of the envelope, solar water heater, consumption pricing, LPG for cars) cannot meet alone the energy challenges. Urban planning is then presented as a more complete tool, in terms of scale and means of action that can structure energy policy through the management of the urban form that is considered as a structured and structuring system of households' energy consumption practices induced by the two sectors, the biggest energy consumers: buildings and transport. This thesis proposes a research approach through which the energy saving potential of the determinants of urban form is explored and identified using systemic modeling method. This scope could help open up potential opportunities for reducing energy consumption in urban areas.

The proposed approach is applied to the case of Djelfa, located in the highlands band characterized by a semi-arid climate. According to the SNAT guidelines (*Schéma national d'aménagement du territoire*), this band is intended for future urbanization, in order to balance the spatial distribution of the population. The obtained results, in the form of models and dashboards, present the energy saving potential of the determinants of urban form, linked to construction and residential transport in the semi-arid zone. This result opens the way for an extension of the approach to other cities and geo-climatic contexts in Algeria. The thesis also deals with the possibility of integrating the results into local urban planning instruments, with the aim of assisting urban project managers and designers. In this context, the approach appears to be the means able to help meeting the objectives of energy management in urban areas, in order to implement the commitments of the national energy policy.

Keywords: Urban form, Energy, Systemic modeling, Determinant factors, Semi-arid zone, Djelfa

الملخص

للحد من المخاطر البيئية الناجمة من تغير المناخ بسبب الاستهلاك المفرط للطاقات الأحفورية وانبعاثات غازات الاحتباس الحراري، توحد المجتمع الدولي حول هدفين رئيسيين : التخفيف والتأقلم . عرضت سياسة الطاقة لكل بلد مشارك وموقع على الاتفاقات من خلال الالتزامات الوطنية. بالنسبة للجزائر فإنها توجه سياستها الطاقوية على محورين رئيسيين، الادماج التدريجي للطاقات المتجددة في القطاعات المصنفة أكثر استهلاكاً للطاقة و تطبيق مبدأ النجاعة الطاقوية. من جهة أخرى تعد المدينة مصدر للانبعاثات الغازية وعاملاً نشطاً في سياسة التأقلم ، والهدف الرئيسي لهذا الاهتمام يشكل محور الإشكالية الحالية للرسالة الذي يمكننا من الاستعمال العقلاني للطاقة غير أنه في الجزائر إلى حد اليوم لم يتم ترجمة التوجيهات الرئيسية لسياسة الطاقة الوطنية من خلال طرق وأدوات مخصصة للتطبيق على النطاق المحلي.

التوجيه الحاصل الآن يستهدف حصرياً البنايات ووسائل النقل التي يتم النظر فيها بشكل فردي). مع ذلك ظاهرياً يبدو أن هذه الإجراءات (العزل الحراري، سخان المياه بالطاقة الشمسية، التسعير و غاز النفط المسيل) وحدها لا يمكن أن تقي بالرهانات الطاقوية. يعتبر التخطيط العمراني كأداة أكثر شمولاً من حيث النطاق مما يمكنه من هيكلة سياسة طاقوية من خلال ضبط وتسيير للشكل الحضري الذي يعتبر كنظام منظم ومنظم لممارسات استهلاك الطاقة الناتجة من قطاعي النقل والبنايات اللذين هما في مقدمة القطاعات الأكثر استهلاكاً للطاقة في المدينة. تماشياً مع هذا الوضع ، تقترح هذه الرسالة منهجاً بحثياً يتم من خلاله فحص مجال الطاقة لمحددات الشكل الحضري والتي تم تحديده من خلال النمذجة و ذلك من أجل فتح مجال فتح التوقعات المحتملة للحد من استهلاك الطاقة في المناطق الحضرية.

الطريقة المقترحة تم تطبيقها على مدينة الجلفة المتواجدة في منطقة الهضاب العليا ذات المناخ شبه الجاف. هذه المنطقة مقترحة في المستقبل من أجل تحقيق التوازن في التوزيع الجغرافي للسكان. النتائج المتحصل عليها على شكل جداول ونماذج تقدم القدرة على ترشيد استهلاك الطاقة من محددات الشكل الحضري المتعلق بالبنايات والتنقل في المنطقة شبه الجافة ، إمكانية دمج النتائج التي تم التوصل إليها في التخطيط العمراني المحلي على شكل مبادئ توجيهية تنظيمية ، وبهدف مساعدة إدارة المشاريع الحضرية (التصميم، التقييم، التخطيط، التسيير) ومن ثم يبدو وأنه وسيلة قادرة لتحقيق أهداف التحكم في الطاقة في المناطق الحضرية، ومن أجل تحقيق التزامات سياسة الطاقة الوطنية.

كلمات المفتاح : الشكل الحضري، الطاقة، النمذجة، المحددات، العوامل، المنطقة شبه الجافة، الجلفة



INTRODUCTION GENERALE

1. CONTEXTE DE LA RECHERCHE

Le vingtième siècle était urbain, le vingt et unième le sera, sans doute, encore davantage. La ville, comme milieu de vie humain, traduit le développement des savoir-faire dans l'espace et laisse son empreinte sur le temps. La population du monde ne cesse de croître. En effet, les analyses démographiques montrent une évolution impressionnante, qui pourrait atteindre une augmentation de près de 9.5 milliards d'habitants à l'horizon 2050, selon les chercheurs (Martine et Marshall : 2007), avec un rythme de près de 1.2 milliards d'habitants tous les douze ans (Rogers et al : 2004 : P11). Cette croissance démographique a généré une augmentation des besoins, ce qui a réduit de 35% les richesses naturelles, rien qu'entre 1970 et 2000 (Doménach.H : 2007). Par ailleurs, la projection mondiale de la population à l'horizon de 2050 prévoit un changement dans la distribution de la population : (i) L'Afrique comptera trois fois plus d'habitants que l'Europe, alors que d'autres pays, comme la Russie, connaîtront une dépopulation ; (ii) La population mondiale vieillira et celle de plus de 60 ans doublera pour avoisiner les 22%. Ainsi, le renouvellement des générations s'avérera difficile pour certains pays, notamment pour l'Europe. (iii) Enfin, la population mondiale sera de plus en plus citadine, avec plus de 60% en l'an 2050.

Pour satisfaire les besoins des populations, l'urbanisation se développe au détriment des bassins alimentaires métropolitains et des terres agricoles. Par ailleurs, les villes aujourd'hui consomment les trois quarts de l'énergie mondiale et sont la cause d'au moins trois quarts de la pollution globale (Rogers et al : 2004 :47). Comme conséquence directe de cette croissance de la population et des besoins qui en découlent, le phénomène des changements climatique s'est manifesté et s'est confirmé à travers plusieurs études.

Parmi les risques environnementaux, qui sont la conséquence directe ou indirecte du réchauffement climatique, on peut citer l'élévation du niveau de la mer, la fonte de la banquise, une augmentation de la température, la sécheresse, ainsi que l'accélération des catastrophes naturelles et des phénomènes climatiques extrêmes. La communauté mondiale s'est alors mobilisée dès les années 1960 et spécialement dans les années 1970 avec l'apparition des travaux MAB, *Men and biospher* et le Club de Rome, mais le véritable enclenchement de l'action n'est arrivé qu'avec le rapport Brundtland de 1987, qui a mis les jalons d'une démarche de développement durable, qui n'est concevable qu'en respect des équilibres entre les besoin et les limites. Les premières applications du développement durable ont porté sur l'amélioration de la qualité de vie, en substituant l'idée de la primauté du capital économique par l'équilibre du tryptique des dimensions économique, sociale et

environnementale. Aujourd'hui, il est aussi communément entendu que le développement durable a pour objectif « *la recherche d'éléments et paramètres de développement quantifiables ou qualifiables* » au service du bien-être et de l'épanouissement de la société dans le respect de la nature, tant à l'échelle locale que globale (Boutaud : 2005 :30). Dans l'urgence de la prise en charge des risques environnementaux qu'encourt la planète, le développement durable s'est aussi rapidement glissé dans le droit international (Boutaud : 2005), et est devenu un passage obligé dans les politiques locales et dans la planification urbaine pour de nombreux pays à travers le monde. A travers les nombreuses conférences et sommets internationaux, la communauté internationale a vu sa base s'élargir pour accueillir davantage de pays, et notamment les pays en voie de développement qui, entre autre, du fait de s'être intéressés aux risques environnementaux, cherchent le profit économique qui en découle, grâce aux orientations du protocole du Kyoto et la Convention cadre des Nations unies (Boukarta : 2011).

Aujourd'hui, même avec l'application des orientations de l'engagement découlant du Sommet de Rio de 1992 qui tend à réduire les émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2050 de sorte qu'elles restent au niveau de celles de l'année 2000, la température mondiale connaîtra, *ipso facto*, une augmentation minimale et moyenne d'au moins 0.1°C chaque décennie jusqu'à 2100, ce qui engendrera une augmentation moyenne de 1°C (Christensen et al: 2007), alors que les précipitations dans la région nord de l'Afrique connaîtront par exemple une baisse avoisinant les -20% à l'aube de l'année 2100 (voir figure ci-dessous).

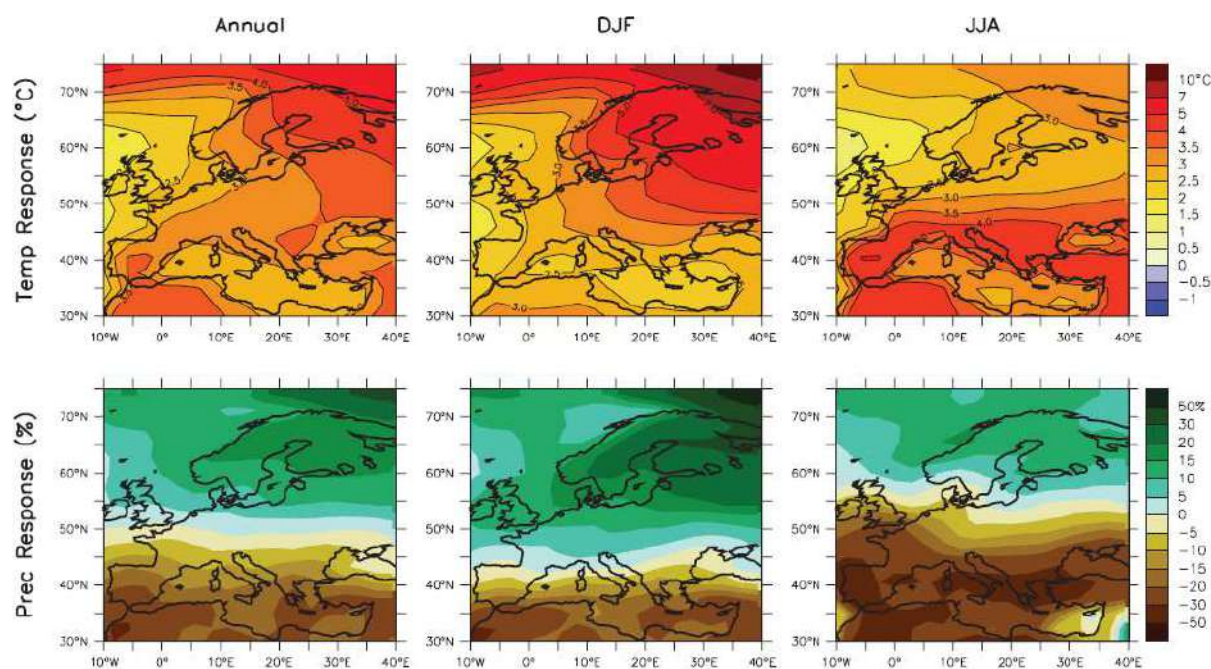


Fig 1 : Projections régionales de l'impact des changements climatiques sur la température moyenne et les précipitations (changement entre 1980 et 1999 et 2080 à 2099). DJF : décembre, janvier, février, JJA : Juin, Juillet, Août. Source : Christensen et al (2007).

Pour lutter contre les changements climatiques, deux actions principales sont possibles : l'atténuation et l'adaptation à ces changements. Dans ce cadre, l'Algérie a lancé son inventaire sur l'émission des gaz à effet de serre dès l'aube de l'an 2000 (Matec : 2010) et a proposé son plan d'action pour réduire leurs émissions. La loi 99-09 portant sur la maîtrise de l'énergie vient au même moment corroborer l'engagement de l'Algérie quant à la réduction des émissions des gaz à effet de

serre. Dans le cadre de cette loi (99-09), l'Algérie a développé un Plan National de Maitrise de l'Energie (PNME) tendant à réduire les émissions de gaz à effet de serre en développant les énergies renouvelables et en augmentant l'efficacité énergétique dans les secteurs de l'habitat, de mobilité, de l'agriculture, des services et de l'industrie.

Dans ce contexte, notre motivation de porter une attention particulière aux ménages et à la mobilité se trouve justifiée. Il est admis que le secteur des ménages recèle un potentiel d'économie d'énergie et de réduction des gaz à effet de serre important, car générant la consommation de l'énergie à la fois à travers les habitations et la mobilité. En Algérie, la consommation de l'énergie finale est portée principalement par les ménages, qui consomment 42% (Aprue : 2014) en 2012. Le secteur de la mobilité arrive en deuxième position avec une consommation de près de 32% de la consommation totale. Ces deux secteurs à eux seuls représentent plus de 70% de la consommation finale en Algérie. La question énergétique est centrale et concerne directement le secteur de l'habitat, tant en termes du bâti que de mobilité. Or aujourd'hui, les orientations principales de la politique énergétique visent presque exclusivement le bâti, ou alors les moyens de mobilité considérés individuellement. Il semble pourtant que ces actions (isolation de l'enveloppe, chauffe-eau-solaire, GPL pour les voitures) ne pourront à elles seules répondre aux enjeux énergétiques. Nous postulons que l'urbanisme se présente alors comme un outil plus large, en termes d'échelle, pouvant structurer la politique énergétique à travers la gestion de la forme urbaine, comprise comme un système structuré et structurant des pratiques de consommation d'énergie induites par le bâti et la mobilité. Une exploration de la synergie entre la forme urbaine et l'énergie pourrait donner davantage d'explication sur les possibilités potentielles pour réduire la demande énergétique.

Pour explorer la synergie forme urbaine/énergie, il est indispensable d'ancrer spatialement la forme urbaine. D'après un rapport du MATE (El Chourouk, 2012), issu du SNAT 2030, près de 63% de la population algérienne vit sur 4% du territoire (JO 61: 2010: 4)¹, ce qui ressemble, précise le rapport, à une famille composée de 16 membres habitant un logement de deux pièces. Les projections futures de la population algérienne prévoient une augmentation avoisinant les 15 millions, autrement dit, l'Algérie comptera en 2050 près de 50 millions habitants (*Idem*, JO 61: 2010: 107). La population algérienne est répartie disproportionnellement sur le territoire national. Elle est, en effet, cantonnée majoritairement sur la bande du littoral, tandis que les parties Sud et des Hauts Plateaux restent moins habitées. Les effets négatifs de l'urbanisation qui accompagnent cette croissance démographique se font d'ores et déjà ressentir : (i) fragilisation de la bande littorale ; (ii) congestion des villes (iii) exode rural ; (iv) pollution ; (v) engorgement des systèmes de transport de certaines villes et l'augmentation des émissions de GES.

Pour pallier à ces effets négatifs de l'urbanisation, dans son Schéma National de l'Aménagement du Territoire (SNAT) à l'horizon 2030 l'Algérie a repris une idée qui revient aux années 1970, l'option dite des Hauts Plateaux HP (JO 61: 100). Le mot d'ordre du SNAT est de redistribuer la population sur le territoire national et notamment sur la bande des HP, afin de stopper la littoralisation et le déplacement Sud-Nord et développer ainsi les Hauts Plateaux en y redéployant une partie de la population du Tell (*ibidem*). Cette orientation est corroborée par la projection de 13 villes nouvelles implantées au Nord, au niveau des Hauts Plateaux et au Sud (voir figure ci-dessous).

¹ Schéma National d'Aménagement du Territoire, MATE, Loi n°10-02 du 29 juin 2010, www.joradp.dz

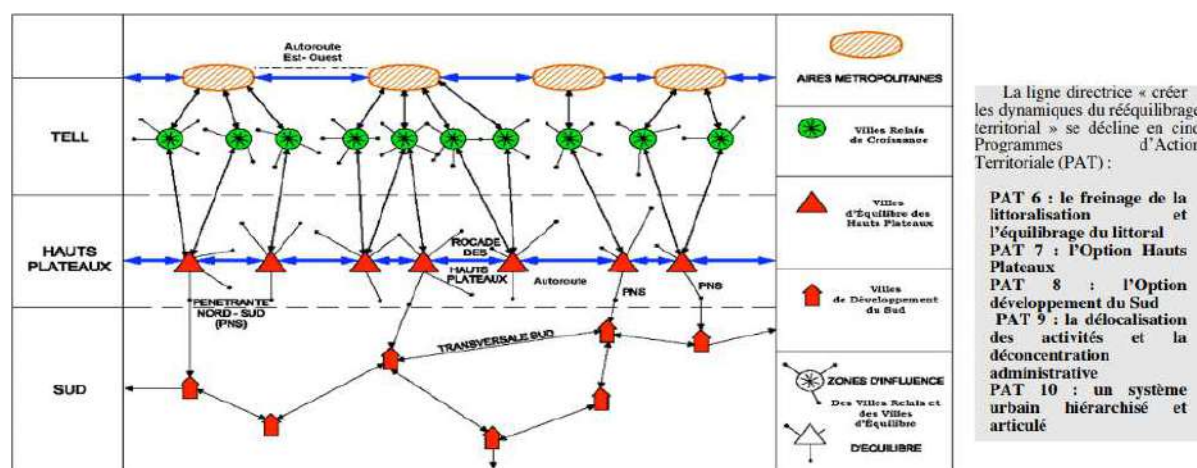


Fig 2 : Schéma d'organisation fonctionnelle du territoire selon le SNAT. Source : Journal officiel n61, p 52.

Notre première intention était, par conséquent, d'explorer la forme urbaine d'une des villes nouvelles projetées dans la zone des Hauts Plateaux, à climat semi-aride. Notre premier choix s'est porté sur la ville de Boughzoul. Mais vu que le Master-plan n'était pas approuvé encore à cette époque (2012) et qu'il n'y avait pas de développement conséquent de la ville², à partir duquel on aurait pu explorer la synergie forme urbaine/énergie, nous avons reorienté notre choix de cas d'étude en explorant, dans un premier temps, un territoire dans un rayon de 50 km autour de Boughzoul, dans lequel nous n'avons pas trouvé d'exemple de ville amplement développée, ce qui nous a poussé encore à se déplacer vers le sud, tout en restant sur la bande des Hauts Plateaux. Notre choix s'est enfin fixé sur la ville de Djelfa, la ville la plus développée et qui propose un cadre bâti riche et diversifié. Aussi, la ville de Djelfa accueille à elle seule une population de plus de 300 000 habitants, rien que dans la commune chef-lieu. Rappelons que la ville nouvelle de Boughzoul a notamment comme objectif d'accueillir 300 000 habitants. Notre choix se trouve alors justifié, vu le rapprochement géographique et géoclimatique entre les deux villes, et la projection future similaire de la population dans la ville de Boughzoul par rapport à celle de Djelfa. Nous avons choisi cet avantage contextuel en ayant comme visée la transposition possible des résultats de notre recherche sur des villes situées dans la zone des Hauts-Plateaux. Cependant, cet objectif étayant notre choix du cas d'étude, n'est émis ici qu'à titre indicatif et il ne fera pas l'objet de vérification dans la présente thèse.

Notre travail de recherche s'intéresse donc à explorer le potentiel de maîtrise de l'énergie des formes urbaines en zone semi-aride. Selon le dictionnaire Larousse, le *potentiel* est l'ensemble des actions possibles à réaliser dans l'avenir si les conditions y soient favorables et réunies. Les conditions ici représentent les interrelations que tisse la forme urbaine avec la demande énergétique induite par le secteur de l'habitat et de la mobilité. En d'autres termes, le potentiel de maîtrise de l'énergie interprétera l'ensemble des actions possibles, suivant lesquelles des économies d'énergies pourraient être obtenues.

² Malgré l'active participation du programme FSP Hauts Plateaux/MATE, orienté sur la maîtrise d'énergie pour la ville nouvelle de Boughzoul, nous n'avons pas pu accéder à la documentation y afférente. Ce programme a été arrêté au moment de la restructuration du MATE et du transfert de la maîtrise d'ouvrage des villes nouvelles au Ministère de l'Habitat, de l'Urbanisme et de la Ville en 2013.

2. PROBELMATIQUE ET HYPOTHESES DE LA RECHERCHE

A travers la revue de littérature scientifique on peut constater que le concept de forme urbaine a une connotation polysémique et multiscalaire. Son usage par les chercheurs requiert alors un effort de définition pour éviter toute confusion possible. Une forme urbaine peut se rapporter à l'échelle d'un îlot, comme celle d'un quartier ou même celle d'une ville, voire de tout un territoire. Pour saisir la relation entre la forme urbaine et la consommation d'énergie, une décomposition thématique de la forme urbaine est nécessaire. Salat (2011) et Baker et Stemmers (2000) ont décomposé la forme urbaine en 4 systèmes : selon les conditions climatiques, selon le contexte urbain, les caractéristiques des bâtiments et les systèmes d'équipement utilisés dans le bâtiment et enfin selon les ménages, rapportés sous l'appellation "occupants" dans la plupart des documents consultés. Nous allons utiliser ce terme délibérément pour évoquer les résidents d'une habitation ou les ménages.

L'impact des conditions climatiques est le premier facteur étudié dans la littérature scientifique et son approche remonte loin dans le temps. L'adaptation des habitations aux conditions climatiques est assez documentée, elle est de fait constatée dans l'habitat traditionnel algérien notamment, mais nous citerons à titre d'exemple des études scientifiques de Givoni (1978), Szokolay (1979) ou Evans (2007). Généralement l'adaptation au climat des ensembles bâtis est interprétée par des stratégies générales que l'architecte concepteur doit prendre en considération lors de l'élaboration de son projet.

En revanche, l'étude de l'impact du contexte urbain sur la demande énergétique est relativement récent. Souvent, le rôle du contexte urbain est étudié sous l'optique de l'effet qu'exerce ce dernier sur les conditions climatiques en les modifiant pour en faire un microclimat. Oke (1989) par exemple a conceptualisé l'effet du contexte urbain par l'îlot de chaleur urbain, traduisant ainsi le changement de température que peut induire une forme urbaine sur un espace donné. D'autres recherches ont essayé de quantifier l'effet du contexte urbain sur la demande énergétique des bâtiments. Ratti et al (2003) ont trouvé que la forme urbaine adaptée peut économiser jusqu'à 10% la demande énergétique des bâtiments. Alors que Salat (2011) estime que les économies d'énergie pourront atteindre les 50% si l'on considère le bâtiment et la mobilité conjointement. Backer et Steemers (2000) ont précisé que l'effet du contexte urbain est contrasté et qu'il est à définir pour chaque cas étudié.

L'impact des caractéristiques du bâtiment est le plus étudié dans la littérature scientifique. Il est identifié à travers l'analyse de l'impact des éléments du bâtiment sur la demande énergétique (Bouyer : 2009). Baker et Steemers (2000) estiment que l'effet du design du bâtiment peut influencer de facteur 2.5 la demande énergétique. Les systèmes d'équipements utilisés dans le bâtiment peuvent aussi influencer la consommation énergétique des bâtiments de par leur performance. La recherche dans ce domaine, considérée à une échelle urbaine plus large que celle d'un bâtiment, requiert un budget-temps important (Loga et Diefenbach: 2010). Le volet de l'occupant reste alors le dernier registre pouvant affecter la demande énergétique dans le bâtiment. L'occupant constitue le premier facteur d'incertitude dans la prévision de la demande énergétique via les programmes de simulation thermique. Cependant l'effet de l'occupant peut faire varier la demande énergétique jusqu'à un facteur de 2, selon Dall'o (2012) et Baker et Steemer (2000).

Enfin, la mobilité est à son tour impactée par les caractéristiques des formes urbaines. L'effet de la forme urbaine a été révélé par les premiers travaux fondateurs de Newman et Kenworthy (1989), qui ont analysé l'effet de la densité des villes à travers le monde et ont trouvé que la densité de population a un impact considérable sur la demande énergétique et tend à la réduire. D'autres travaux développés ultérieurement, ont soit étayé l'hypothèse de Newman et Kenworthy, soit l'ont relativisé, comme c'est le cas avec Brehny (1995). D'autres recherches ont exploré l'impact de la forme urbaine sur la mobilité sous l'optique du phénomène de l'étalement urbain (Bakour : 2016) ou celui de la métropolisation (Nguyen Son: 2014), sans pour autant évoquer la question énergétique.

Après avoir identifié les entrées possibles de la problématique de maîtrise de l'énergie à travers la forme urbaine, nous constatons que la demande énergétique dans le secteur résidentiel, induite par l'habitat et la mobilité, est conditionnée par les caractéristiques des occupants et de l'environnement bâti (contexte urbain, climat, densité .. etc). Ainsi, l'entrée par l'occupant nous paraît la plus judicieuse à considérer dans notre recherche, car toutes les variations des paramètres de la forme urbaine (environnement bâti) ne trouveront leur sens qu'à travers l'occupant qui, lui, transformera ces corrélations en des pratiques de consommation d'énergie observables à l'échelle du bâtiment et celle de la mobilité. Dans le cadre de limitation de notre champ d'étude à l'échelle urbaine, le registre des systèmes d'équipements du bâtiment (type de système de chauffage, de climatisation et d'éclairage) n'est pas traité dans la présente recherche.

A ce niveau d'avancement de notre problématique deux questions nous interpellent:

Quel est l'impact de l'occupant et de l'environnement bâti sur la variation de la demande énergétique générée par l'habitat et la mobilité dans le secteur résidentiel et dans la zone-semi-aride?

Qui des deux registres a l'effet le plus important sur la demande énergétique, l'occupant ou l'environnement bâti ?

Pour répondre à ces questionnements, nous posons les deux hypothèses suivantes :

Hypothèse 1 : Nous supposons d'abord que l'approche urbaine du potentiel de maîtrise de l'énergie n'est pas fractale spatialement. Ce qui veut dire que la position particulière d'une zone géographique oblige à ce qu'il y ait une adaptation aux spécificités locales en identifiant les facteurs les plus importants par territoire.

Hypothèse 2: On considère ensuite que le potentiel de maîtrise de l'énergie, dans l'habitat et la mobilité, peut être caractérisé par un ensemble de variables inhérentes à l'occupant et à l'environnement bâti. Dans cette logique et par analogie, l'occupant peut être assimilé à un catalyseur réagissant dans une forme urbaine sur la consommation d'énergie sous l'effet de ses propres caractéristiques (socio-économique et démographique) et des sollicitations externes (climat et environnement bâti). Cette deuxième hypothèse confère à l'occupant un rôle structurant de la demande énergétique.

Ces hypothèses vont guider les protocoles de démonstration de notre recherche.

3. OBJECTIF DE LA RECHERCHE

L'objectif principal de la présente recherche est de développer une démarche capable d'aider les concepteurs et les gestionnaires des milieux bâtis à déceler la relation potentielle qui existe entre la forme urbaine et la consommation d'énergie en zone semi-aride, en proposant un tableau de bord

aidant à prédire le potentiel de maîtrise de l'énergie à travers des paramètres liés à l'occupant, au bâtiment, ainsi qu'à la mobilité. Pour ce faire, il nous est indispensable de dresser un ensemble d'indicateurs ayant pour finalité la maîtrise de l'énergie aux échelles urbaines identifiées comme significatives. Cet ensemble d'indicateurs accompagne le processus de conception des formes urbaines et de fonctionnement à différentes échelles, en orientant la conception sur des traits socio-économiques et démographiques représentant les occupants, morphologiques liés au bâtiment, ainsi que fonctionnels et de design liés à la mobilité.

4. METHODOLOGIE DE RECHERCHE

Pour atteindre les objectifs cités *supra*, nous avons exploré d'abord le contexte national à travers la lecture de la politique énergétique nationale, ainsi que l'état des savoirs portant sur la recherche nationale traitant la problématique de maîtrise de l'énergie. A partir du cadrage de cette partie par des analyses AFOM, nous avons prôné l'approche systémique comme ligne de conduite principale dans notre recherche. Ce choix trouve son expression à travers la précision conceptuelle concernant les acceptions de la forme urbaine que nous avons tenu à éclaircir et qui nous a permis d'atteindre une stabilité quant à la définition de la forme urbaine entendue, dans toutes les définitions que nous avons revues, comme système. L'approche systémique s'appuie sur : l'identification des composantes du système à l'œuvre et en l'occurrence, le système de forme urbaine construit sous l'optique de la demande énergétique, et sur l'étude des interrelations entre les indicateurs définissant les composantes de ce système.

Puis, dans un second temps, pour identifier les composantes du système de forme urbaine nous avons dressé un état de l'art composé de deux grandes parties : l'une traitant la mobilité quotidienne domicile-travail et l'autre consacrée aux facteurs agissant sur la consommation de l'énergie due aux occupants. Cette partie nous a permis de développer une batterie d'indicateurs potentiels pouvant expliquer **la consommation résidentielle de l'énergie par l'occupant**. Nous avons identifié et discuté 77 déterminants potentiels de cette consommation pour le bâtiment et 67 pour la mobilité. Il est important de souligner par ailleurs que la présente recherche n'est pas orientée sur l'évaluation du confort thermique, l'aspect le plus souvent analysé dans la littérature scientifique, mais sur la problématique de maîtrise de l'énergie en milieu urbain, sous l'optique des variables urbaines inhérentes à l'occupant et à l'environnement bâti.

En troisième phase, nous avons effectué une première adaptation des indicateurs au contexte local, puis une deuxième adaptation, réalisée en trois étapes et basée principalement sur les analyses factorielles qui sont aussi appelées analyse de sensibilité, car elles nous permettent d'avoir une flexibilité quant au nombre de variables à introduire dans le modèle et aussi pour la robustesse des exigences de validation des modèles élaborés. La première étape est ici conduite par l'analyse bi-variée consistant à identifier les corrélations potentielles entre la consommation de l'énergie et les variables explicatives identifiées à travers l'état de l'art. La deuxième étape d'analyse porte sur le développement des ACP, des analyses en composante principale, nous permettant d'identifier le potentiel de formation d'un système de forme urbaine à travers les variables introduites dans le modèle et repérer aussi les proximités entre les variables. La première et la deuxième étape ont une portée exploratoire, nous permettant d'émettre un ensemble d'hypothèses représentant les interrelations ou pistes de causalités que tissent les variables entre elles, pour expliquer la variation

dans la demande énergétique due à la mobilité et au bâtiment. La troisième étape est celle de confirmation et de sélection des variables pertinentes, conduite par modélisation des systèmes établis en s'appuyant sur la modélisation par équation structurelle (MES). En plus des effets directs que les modélisations classiques par régression linéaire nous permettent d'avoir, l'approche par MES a l'avantage de nous permettre d'identifier les effets directs et indirects de chaque variable dans le système. Une variable n'est retenue dans le modèle que si elle est significative dans la modélisation établie (Thongrattana : 2010).

La présente thèse s'appuie sur l'utilisation de certains programmes tels que : Autocad pour les dessins, Mapinfo pour les systèmes d'information géographique, SPSS pour les analyses de sensibilité et AMOS pour la conduite des modélisations par équation structurelle. Le choix des logiciels cité *supra* se trouve justifié par la simplicité et l'ergonomie d'usage, la flexibilité du paramétrage et par une moindre complexité comparé à d'autres logiciels.

Aussi, le choix de la ville de Djelfa comme cas d'étude, pour les raisons citées ci-dessus, nous a conduits à collecter les données (RGPH 2008, Sonelgaz 2013) nécessaires pour l'application de notre modèle d'analyse. Les échelles spatiales explorées dans la présente recherche se déclinent en macro portant sur la wilaya de Djelfa, méso portant sur la ville de Djelfa pour l'étude de la mobilité quotidienne et celle portant sur l'échelle du bâtiment. Pour des raisons inhérentes à la difficulté d'accès aux données de consommation réelle de l'énergie, l'échelle micro portant sur l'échelle des quartiers pour l'évaluation de l'impact du microclimat sur la variation de la consommation énergétique n'a pas été traitée dans la présente recherche. Elle pourrait donner lieu au développement futur de la recherche.

Pour l'identification du potentiel de maîtrise de l'énergie de la mobilité résidentielle, nous avons dû collecter les données via un questionnaire fermé. 700 questionnaires ont été administrés pendant le mois d'avril et mai de l'année 2015, dont 300 ont été obtenus. Après le dépouillement des questionnaires, nous en avons retenus 184 jugés viables. Le questionnaire portait sur la collecte des données liées : (i) au volume de mobilité contrainte et régulière domicile-travail ; (ii) à la caractérisation de l'environnement bâti selon la nomenclature dite des 5D développée par Ewing et Cervero (2010) ; (iii) à la caractérisation socio-économique de l'occupant ; (iv) Et enfin à l'identification du mode de déplacement. Voir schéma ci-dessous.

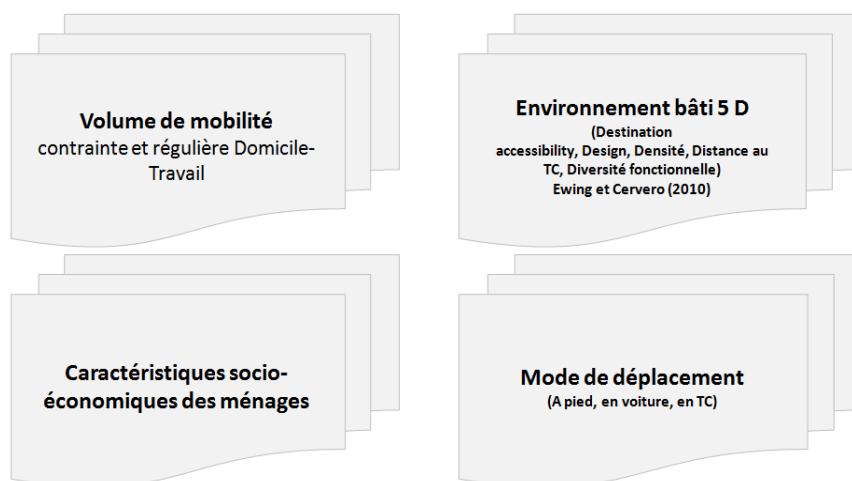


Fig 3 : Contenu du questionnaire fermé portant sur la mobilité domicile-travail.

Le schéma ci-dessous retrace la méthodologie de recherche décrite *supra* :

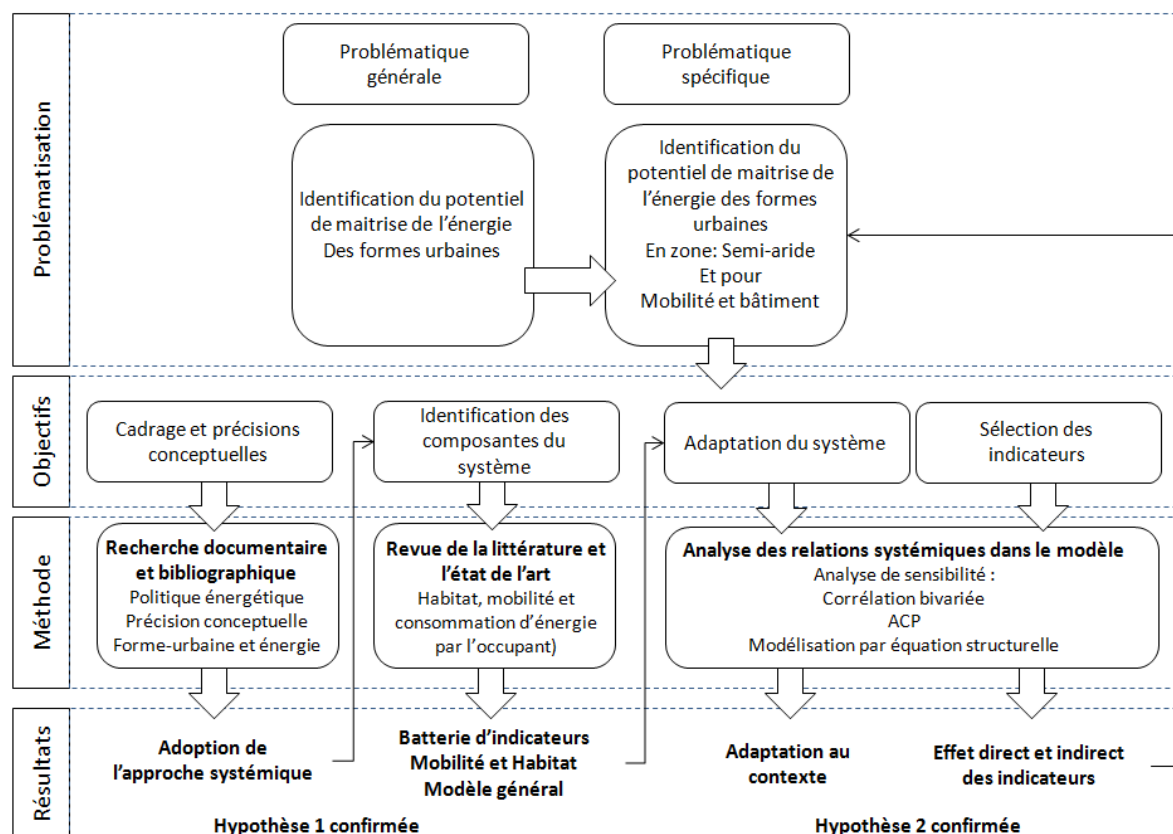


Fig 4 : Méthodologie de recherche adoptée (source : Auteur)

5. STRUCTURATION DE LA THESE

Nous avons structuré la thèse en trois parties, dont chacune comprend deux chapitres. Dans la **première partie**, nous avons mis en exergue la politique de la maîtrise de l'énergie et ses enjeux à l'échelle nationale et internationale. Pour ce faire, dans le premier chapitre nous avons dressé, à travers la **revue de la littérature** (recherche bibliographique), un bilan rétrospectif et prospectif de la situation énergétique en Algérie selon deux volets : (i) la revue de la politique énergétique de l'indépendance à nos jours ; (ii) un état des lieux et les avancées nationales concernant la maîtrise de l'énergie. Cet état des lieux est organisé selon l'échelle des études identifiées (occupant, bâtiment, ville, territoire et législation) et les méthodes de recherche utilisées dans ces études. Ce chapitre nous montre la rareté des études ayant comme objet l'occupant dans l'espace résidentiel (le ménage). Mais nous observons aussi que l'énergétique urbaine est souvent abordée comme problématique à connotation microclimatique. Le deuxième chapitre, quant à lui, propose des définitions et des précisions de la forme urbaine considérée individuellement, puis en synergie avec l'énergie. A travers ce chapitre un **modèle analytique** est conçu pour nous permettre de caractériser le potentiel de maîtrise de l'énergie des formes urbaines. La conclusion de la première partie expose par conséquent l'intérêt de l'étude et de l'approche que nous avons adoptée, en prenant l'occupant comme l'entrée d'analyse.

La **deuxième partie** de la thèse comporte un **état de l'art** organisé à son tour en deux chapitres. Le troisième chapitre vise à identifier les paramètres les plus influents de la **consommation d'énergie**

considérée à l'échelle du bâtiment et le quatrième chapitre est consacré à l'état de l'art portant sur les **déterminants de la mobilité**. En plus des effets des déterminants potentiels, l'état de l'art présente aussi les méthodes de sensibilité utilisées par la communauté scientifique. En prenant en considération l'état de l'art ainsi effectué, la synthèse de la deuxième partie expose notre **positionnement méthodologique** et dresse en détail de la méthodologie proposée pour caractériser le potentiel de maîtrise de l'énergie. Nous avons développé en fin de cette deuxième partie notre **modèle d'analyse détaillé** comprenant toutes les variables potentielles pouvant expliquer la variation de la demande énergétique dans l'espace résidentiel et pour la mobilité domicile-travail. La méthode d'identification des déterminants de maîtrise de l'énergie se base sur le **protocole d'analyse de sensibilité développé en fin de la deuxième partie**. L'analyse est conduite à travers deux volets : (a) Le premier volet a une portée exploratoire matérialisée par une analyse de corrélation bivariée et l'analyse en composante principale (ACP) ; (b) et un volet à portée confirmatoire, réalisé par modélisation par équation structurelle.

La **troisième partie** de la thèse expose la partie empirique de la recherche. Par application du modèle d'analyse développé dans la deuxième partie de la thèse, le cinquième chapitre analyse le cas d'étude de Djelfa et expose le potentiel de maîtrise de l'énergie à l'échelle des municipalités (communes), tout en spécifiant l'impact direct et indirect de chaque paramètre considéré en interaction avec les autres paramètres. Dans le même chapitre, le potentiel de maîtrise de l'énergie des facteurs liés au bâtiment est aussi identifié à travers une campagne de simulation conduite sous Pléiade+Comfie. En synthèse de ce chapitre, une comparaison entre les effets des indicateurs liés à l'occupant et ceux liés au bâtiment est présentée. Enfin, le sixième et dernier chapitre comprend les résultats de l'enquête ménage réalisée dans le cadre de notre recherche, à partir de laquelle le potentiel de maîtrise de l'énergie des indicateurs explicatifs de la demande énergétique due à la mobilité est exploré. La synthèse de la troisième partie propose une approche pour l'introduction des résultats obtenus dans les instruments d'aménagement relatifs aux zones semi-arides.

La conclusion de la thèse comprend une reprise-synthèse des principales conclusions, le constat relatif à la validation des hypothèses de départ, des recommandations d'opérationnalité des résultats, les limites de la recherche, ainsi que les perspectives des recherches futures. Le schéma qui suit présente une structure globale de la thèse.

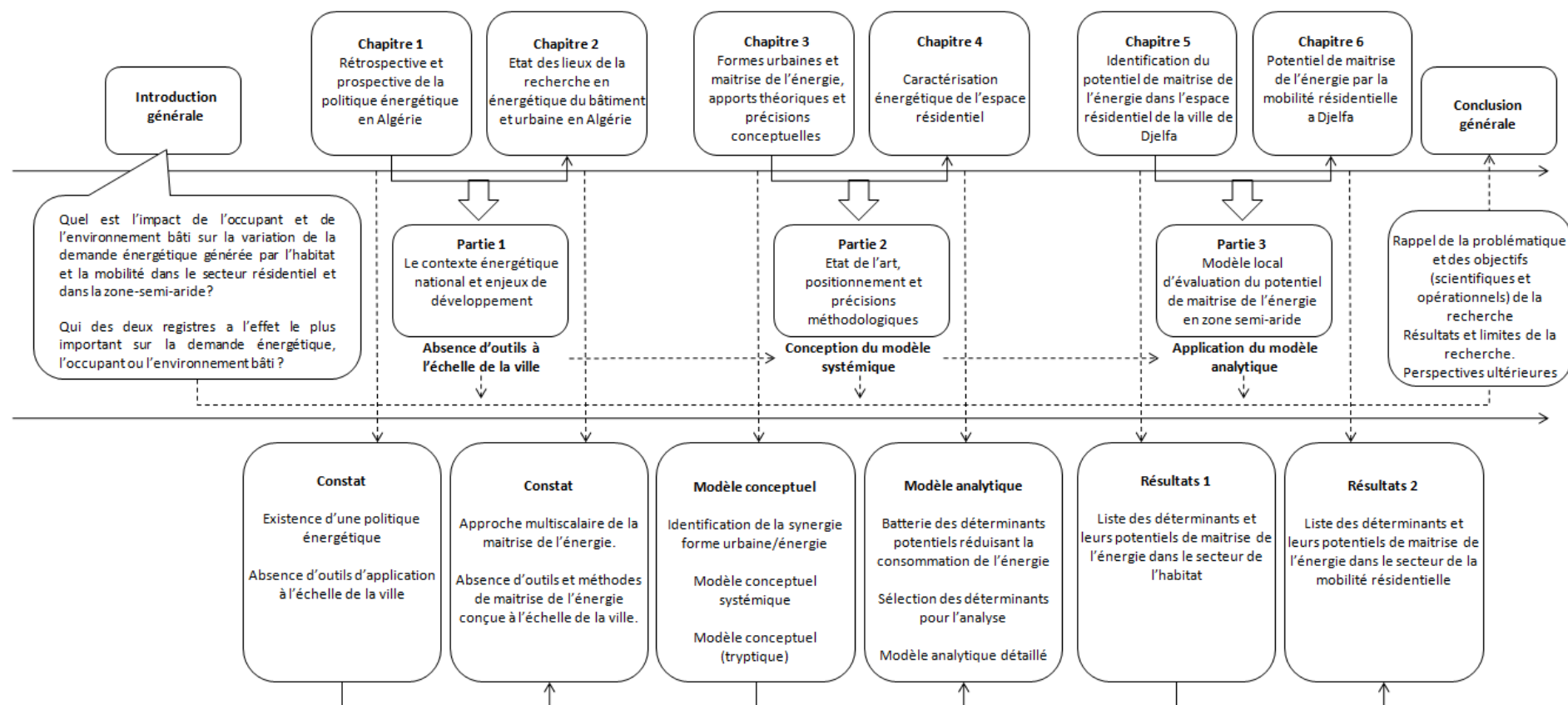


Fig 5 : Structuration de la thèse.

Partie I

Le contexte énergétique national, apports et précisions conceptuelles

Dans la présente première partie, et dans le premier chapitre, le contexte énergétique en Algérie est revu en termes de politique énergétique et de l'état d'avancement de la recherche scientifique dans le domaine de maîtrise de l'énergie. Une analyse diachronique et synchronique de la politique énergétique est élaborée à travers la lecture du développement du secteur énergétique en Algérie, de l'indépendance à nos jours. Cette première lecture nous permettra d'explorer la situation énergétique en Algérie ainsi que le développement des moyens et outils de la mise en œuvre de la politique énergétique. Quant à la recherche scientifique, la revue de la littérature scientifique est réalisée selon une logique multiscalaire, afin d'identifier les entrées possibles à la problématique de la maîtrise de l'énergie en Algérie, qui demandent à être éclairées. A travers le deuxième chapitre, nous explorons le développement des définitions de la forme urbaine et nous examinons la synergie forme urbaine/énergie afin d'explorer les entrées possibles pour caractériser le potentiel de maîtrise de l'énergie des formes urbaines. Ainsi, cette première partie nous permet de développer notre modèle analytique ayant l'occupant comme entrée pour la caractérisation du potentiel de maîtrise de l'énergie des formes urbaines.

1

CHAPITRE 1

Le contexte énergétique en Algérie

Le présent chapitre expose la situation énergétique en Algérie à travers deux sections : (a) la première portant sur la politique énergétique nationale ; (b) la deuxième section dressant un état des savoirs portant sur la recherche scientifique ayant comme problématique la maîtrise de l'énergie en Algérie.

SECTION 1A.

RETROSPECTIVE ET PROSPECTIVE DE LA POLITIQUE ENERGETIQUE EN ALGERIE

La présente section expose l'évolution de la politique énergétique en Algérie de l'indépendance à nos jours, dans le but d'explorer son adaptation face aux effets négatifs de la consommation des énergies fossiles sur l'environnement, aux changements climatiques ainsi qu'aux enjeux actuels de développement. Aussi, cette section présente le cadre législatif, les outils et moyens à partir desquels la politique énergétique a été développée. Nous apporterons une lecture critique de la politique énergétique tout en essayant d'identifier, à travers une analyse AFOM, ses atouts et ses lacunes éventuelles, ce qui nous permettra par la suite de situer notre problématique sous l'optique de la politique énergétique du pays.

1.1. Principales phases de développement du secteur des hydrocarbures et illusion de la richesse pétrolière

La réflexion autour du potentiel en termes des hydrocarbures dans le sous-sol du Sahara algérien a débuté dès les années 1930 avec les travaux des géologues. La confirmation de l'existence du potentiel n'a été cependant faite qu'en 1956³, avec la découverte des deux gisements : à Hassi Messaoud à Ouargla et Hassi R'mel à Laghouat. Depuis, l'exploitation du gaz et produits pétroliers n'a cessé de croître pour répondre, dans un premier temps, aux besoins de la colonisation française en pleine expansion, puis, après l'indépendance, à une demande croissante suite à l'accroissement démographique de la période de l'indépendance à nos jours (voir graphe ci-dessous). Les réseaux d'alimentation en énergie se sont remarquablement développés, avec un taux d'électrification dépassant les 98% sur la quasi-totalité du territoire national, alors que le gaz a un taux de raccordement moindre, évalué à 52% (APRUE : 2014).

³ Après 4 ans d'exploration par les sociétés françaises SN REPAL et CFP, érigées à l'aube de la deuxième guerre mondiale (Slougui : 2010).

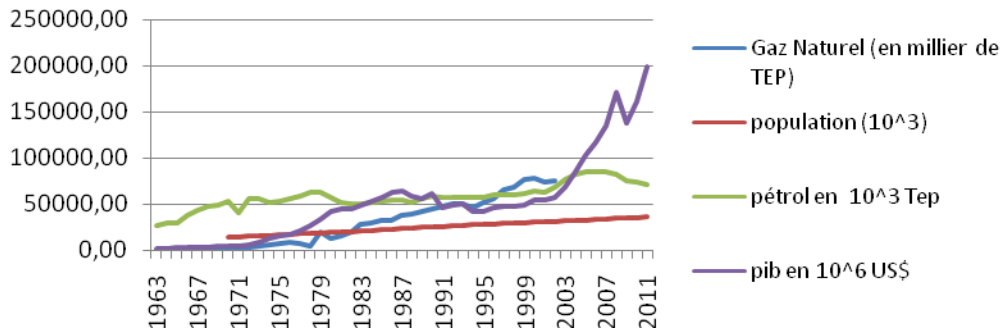


Fig 1- 1 : Evolution de la production du gaz naturel et de la population depuis l'indépendance à nos jours. Réalisé par S. Boukarta à partir des données de l'ONS (2011).

Après 1956, de nombreuses explorations ont vu le jour et ont permis à l'Algérie de se constituer en tant que marché potentiel en termes de gaz et de pétrole brut. Mais les principales découvertes des gisements ont été effectuées dans les années 1990. En 1977, Mekhideche a évalué les réserves du pétrole à près de 9 milliard de barils.

A l'aube de l'indépendance, l'exploitation des hydrocarbures fut principalement française avec un taux de 20 millions de tonnes annuellement, alors que l'Algérie, nouvellement indépendante, n'exploitait ses propres ressources qu'à hauteur de 2.1 millions de tonnes, soit le dixième de la production nationale (Slougui : 2010). L'entreprise Sonatrach fut lancée pour transporter et commercialiser les hydrocarbures en 1963, et en 1966 on lui a attribué la compétence d'exploration, de recherche et de transformation. Sous la présidence de H.Boumediene, l'Algérie procède à la nationalisation des hydrocarbures à hauteur de 51 % du pétrole brut et 100% du gaz, et de ce fait, la Sonatrach est devenue la seule société régissant le secteur minier. En 1972, la Sonatrach se charge de produire 77 % du pétrole brute (42 millions de tonnes). L'apparition des usines de liquéfaction du gaz, à Arzew et Skikda, a donné un élan dans la commercialisation du gaz qui a progressé remarquablement avec l'apparition des clients potentiels de long terme, notamment l'Europe et les Etats-Unis d'Amérique (Slougui : 2010). Depuis, l'entreprise est devenue une pièce maîtresse de l'industrie pétrolière et un partenaire obligatoire pour toute société voulant explorer le sous-sol algérien, avec un minimum de 51% de parts revenant à la Sonatrach.

L'économie nationale était (et elle est toujours) quasi-totalement dépendante de la rente des hydrocarbures. Lors des deux chocs pétroliers de 1973 et 1979, l'économie nationale s'est considérablement développée, mais avec la chute du prix du pétrole entre 1982 et 1986, il y a eu un effondrement et la situation économique du pays s'est aggravée avec l'accumulation des dettes. D'après Slougui (2010), cette situation critique a poussé le gouvernement en place à revoir son cadre législatif portant sur les énergies, en y apportant un amendement en 1991 (avec la loi de 1986) pour assouplir l'investissement étranger notamment à travers l'assouplissement de la règle de partage de la production et le paiement des droit d'entrée, encouragement de l'exploration et l'élargissement du capital étranger. La situation sur le terrain s'est vite traduite par une intensité dans l'exploration, la découverte de nouveaux gisements, la production et l'exportation. En abolissant le principe du minimum de 51 % de droit de propriétaire dévolu à la Sonatrach, la loi d'avril 2005 remet en question le principe de nationalisation adopté en 1971, pour que les sociétés étrangères puissent acquérir pleinement, à hauteur de 70% voire 100%, des réserves qu'elles découvrent. Cette décision peut paraître contreproductive, mais les autorités arguent que le fait de dépendre principalement de la technologie exploratrice venant de l'étranger et de la recette des hydrocarbures et du prix de vente mène naturellement à des négociations difficiles, aboutissant à ce type de décisions. La politique

énergétique de l'Algérie jusque-là s'est donc montrée monodirectionnelle, dépendant principalement des énergies fossiles à développement dépourvu de stratégie. La fragilité de l'économie nationale s'explique pleinement si l'on examine l'importance des hydrocarbures dans la formation du PIB (voir figure-ci-dessous) et qui montre un passage de 17 à 52% du PIB entre 1963 et 2011.

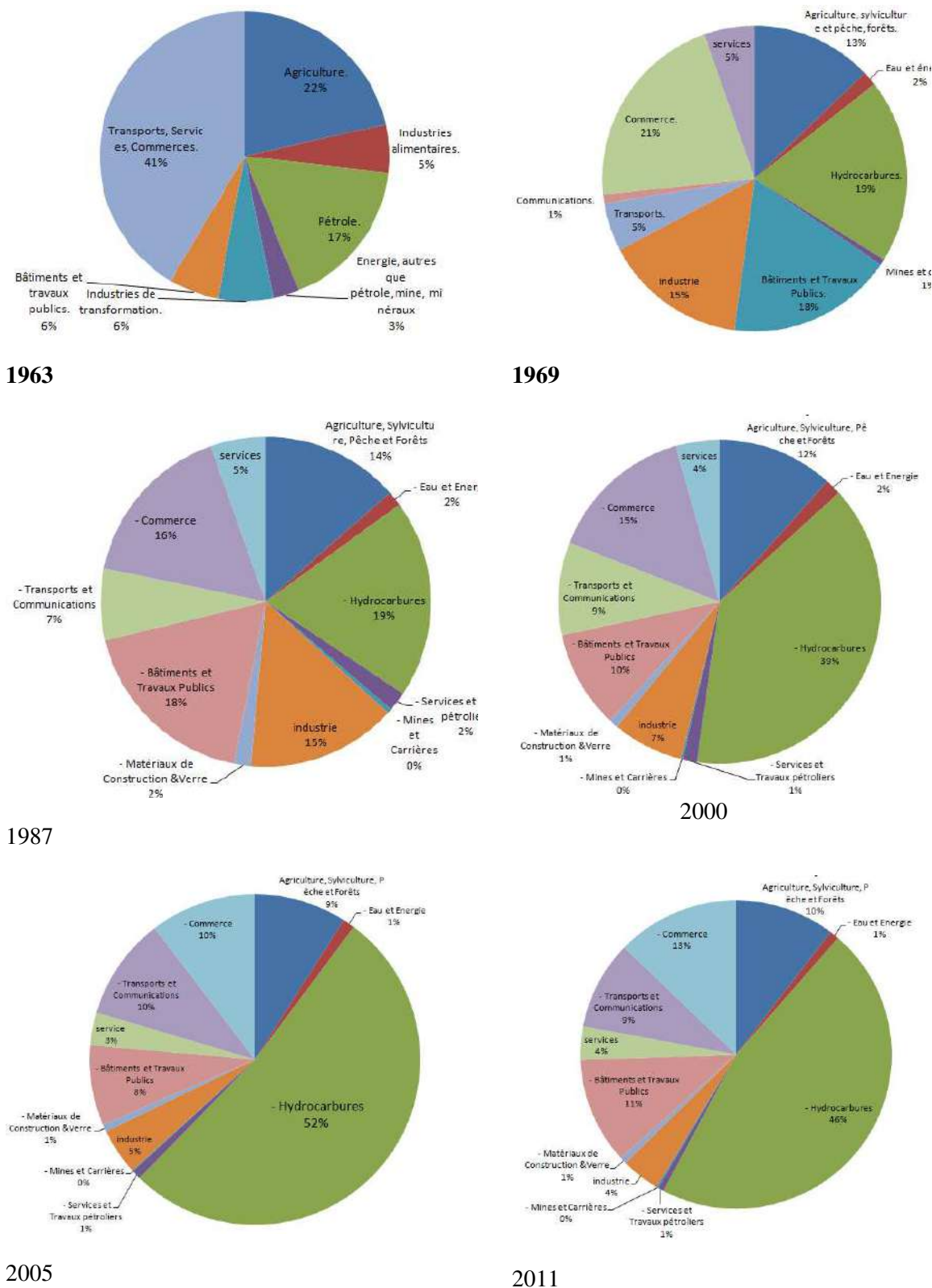


Fig 1- 2: Evolution de la part du pétrole dans le PIB de 1963 à 2011. Réalisé par S. Boukarta à partir de l'ONS (2011).

Dans la même lignée, l'intensité énergétique est un indicateur intéressant et obligatoire proposé par le protocole de Kyoto pour apprécier la fragilité économique d'un pays liée à l'énergie (Zerroug et al : 2015, Aprue : 2007 et 2014). **L'intensité énergétique** se calcule par le rapport de la consommation nationale au produit intérieur brut. Cet indicateur exprime la quantité d'énergie nécessaire pour produire de la valeur ajoutée, il est exprimé en tonne équivalent pétrole par 1000\$. Plus l'intensité énergétique est importante, plus grande sera la fragilité économique du pays considéré. Selon les chercheurs, il se trouve qu'en s'appuyant sur cet indicateur révélateur, l'on trouve que l'Algérie consomme deux fois l'énergie nécessaire pour produire la même valeur ajoutée que celle dans les pays de l'OCDE (Zerroug : 2015, Bouamama :2013).

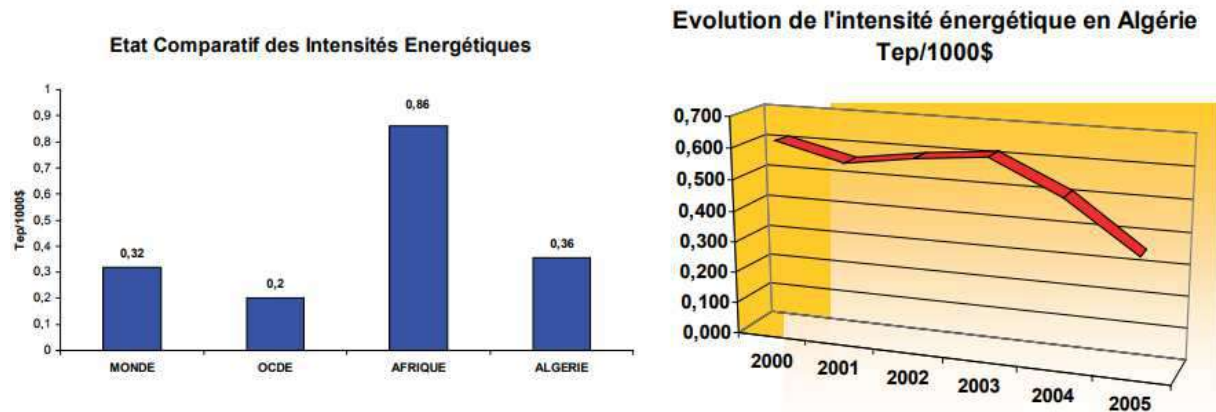


Fig 1- 3: Evolution de l'intensité énergétique en Algérie. Source : Aprue : 2007.

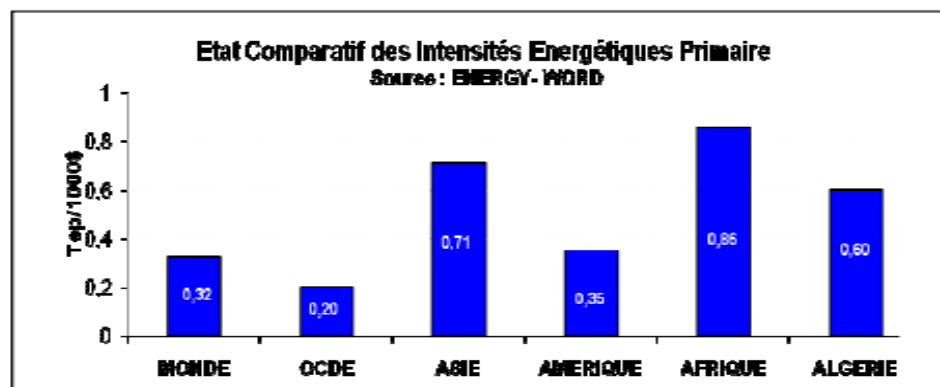


Fig 1- 4: Comparaison en termes d'intensité énergétique. Source : Aprue : 214.

Si l'on compare les variations de l'intensité énergétique entre l'Algérie et le reste du monde, on retrouve une amélioration dans le monde de près de 1.6% entre 1990 et 2006 suite aux initiatives internationales, ce qui a engendré des économies d'énergie de l'ordre de 37% de la consommation mondiale. Et de même pour le cas de l'Algérie, qui a enregistré une intensité énergétique stable entre 2000 et 2003 (autour de 0.53 Tep/1000\$), alors que la période de 2004 à 2007 a connu une amélioration en terme d'intensité de l'ordre 0.41 Tep/1000\$. Selon l'Aprue et le Ministère des Energies et de Mines, ce développement positif de l'intensité énergétique est dû principalement à une amélioration dans la capacité d'usage des systèmes de production (Rezzoug et al : 2015).

Même s'il y a eu une évolution entre 2004 et 2007, l'intensité énergétique reste élevée comparée à celle des pays de l'OCDE. Ceci pourrait bien s'expliquer par les modestes capacités industrielles d'une part et la dépendance de l'étranger pour l'extraction du gaz et du pétrole, d'autre part.

Comme troisième indicateurs de la fragilité de l'économie nationale, on trouve la part dominante des exportations des hydrocarbures qui représente, dès les années 1970, 90 % des recettes du pays en

devise. Depuis les années 2000, la part des hydrocarbures avoisine les 97% des recettes en devise, par ailleurs les deux tiers (77%) des recettes budgétaires proviennent aussi des hydrocarbures (Mekideche : 1996 et 2009, Bouamama : 2013, Mem :2015, Cherfi : 2010).

Tous les indicateurs que nous avons examinés *supra* indiquent une dépendance claire de l'économie nationale envers l'industrie énergétique. Nous visualiserons dans les paragraphes qui suivent le modèle national de consommation énergétique, puis la stratégie énergétique que le gouvernement a mise en place pour atténuer la situation de cette dépendance aux énergies fossiles.

1.2. Modèle de consommation énergétique nationale

1.2.1. Evolution de la consommation finale de l'énergie en Algérie par produit et par secteur

La consommation finale en Algérie représente plus de 70% de la consommation totale. Elle concerne la consommation des principaux secteurs : le résidentiel, l'industrie, l'agriculture, le BTP et le transport. L'évolution de la consommation est spectaculaire et elle est liée principalement au développement démographique, à l'amélioration du PIB et surtout aux découvertes réalisées depuis les années 1970. La consommation finale représente depuis l'indépendance près de 30% de la consommation nationale, dont 30% sont consommés principalement par l'industrie énergétique. La consommation finale a alors augmenté de 5,3 Mtep en 1976 à 27,5 Mtep en 2007 (Cherfi : 2010).

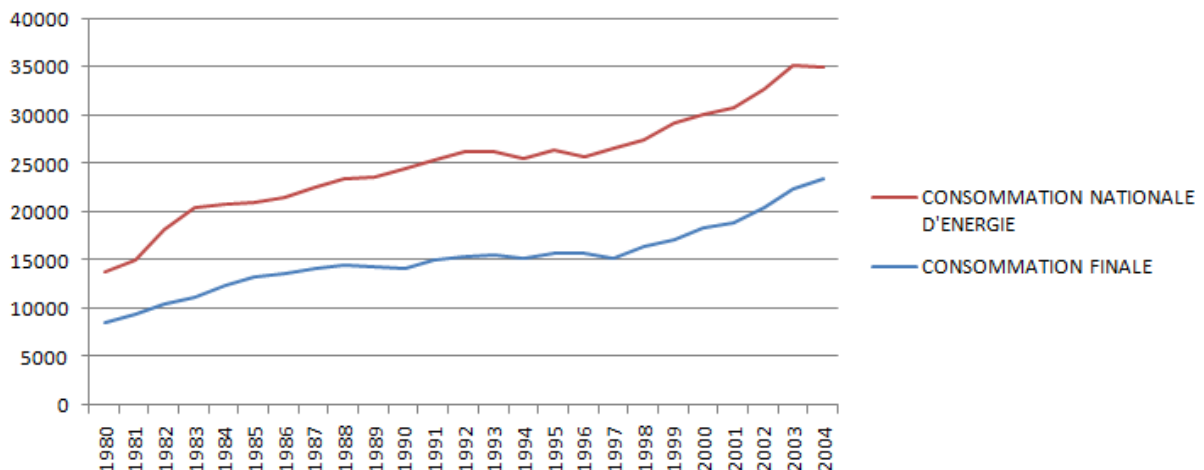


Fig 1- 5: Evolution Rétrospective du Bilan Énergétique National Algérien. Source : S.Boukarta à partir des données du MEM.

1.2.2. Consommation finale par secteur d'activité

L'examen rétrospectif d'un quart de siècle de la consommation finale ventilée par secteur d'activité nous révèle principalement une augmentation dans tous les secteurs et tout particulièrement celui des ménages qui, à lui seul, a dépassé les 12 millions TEP en 2004. Le secteur des ménages constitue, selon le graphe ci-dessous, la seule tendance ne connaissant aucune régression dans la consommation, ce qui souligne l'importance de la demande énergétique des ménages. L'industrie énergétique montre quant à elle, dans l'ensemble, une évolution positive tendancielle. Pendant les débuts de la crise énergétique des années 1980, l'industrie énergétique a chuté de près de 7.8 millions de TEP à moins de 6 millions en 1985. Le secteur du transport affiche une évolution depuis les années 1980, avec une accélération importante au début des années 2000 reflétant l'impact du cadre législatif de 1991 et le développement du pays. Enfin, le secteur de l'industrie et du BTP a

globalement progressé et affiche aussi une évolution liée directement à la rente du secteur de la production énergétique. La crise des années 1980 a impacté négativement l'évolution du secteur, qui s'est améliorée avec l'amendement de 1991. La consommation finale en Algérie, selon une étude tendancielle (Cherfi : 2010), pourrait atteindre 43 et 64 Mtep entre 2020 et 2030.

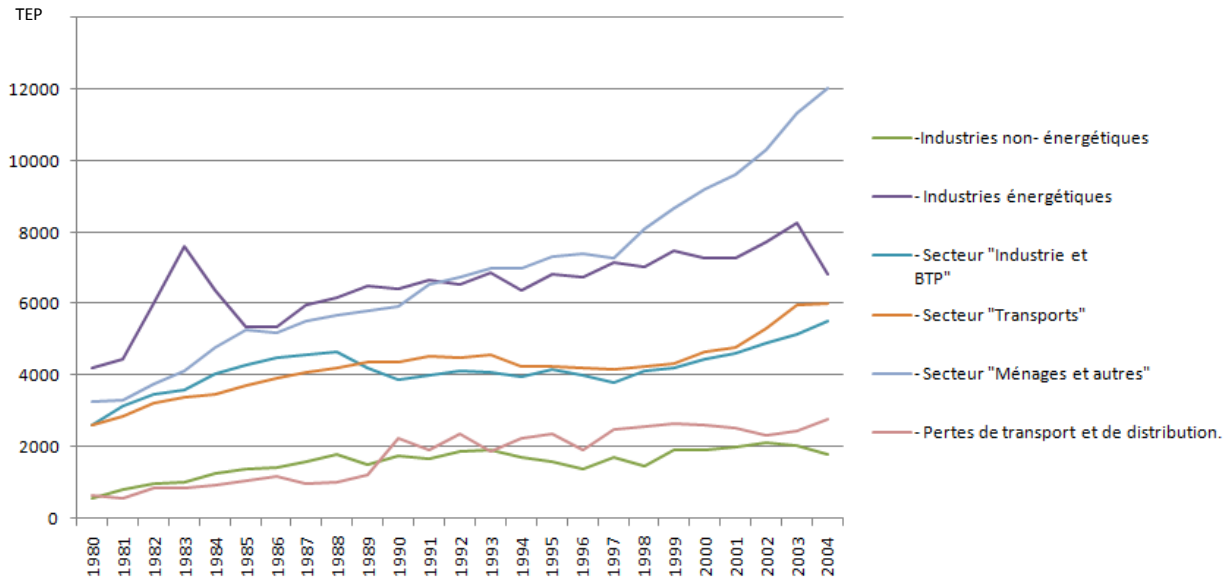


Fig 1- 6: Evolution rétrospective de la consommation d'énergie par secteurs. Source : S. Boukarta d'après MEM

1.2.3. Consommation par secteur et par produit

La consommation des combustibles solides est principalement industrielle et les ménages ne représentent qu'à peine 20%. La tendance exponentielle entre 1981 et 1989 est remarquable sur ce graphique où la consommation industrielle des combustibles solide dépasse les 700 000 Tep et que, à partir de 1990, la consommation du combustible chute et reprend sa consommation de 1980 soit moins de 300 000 TEP.

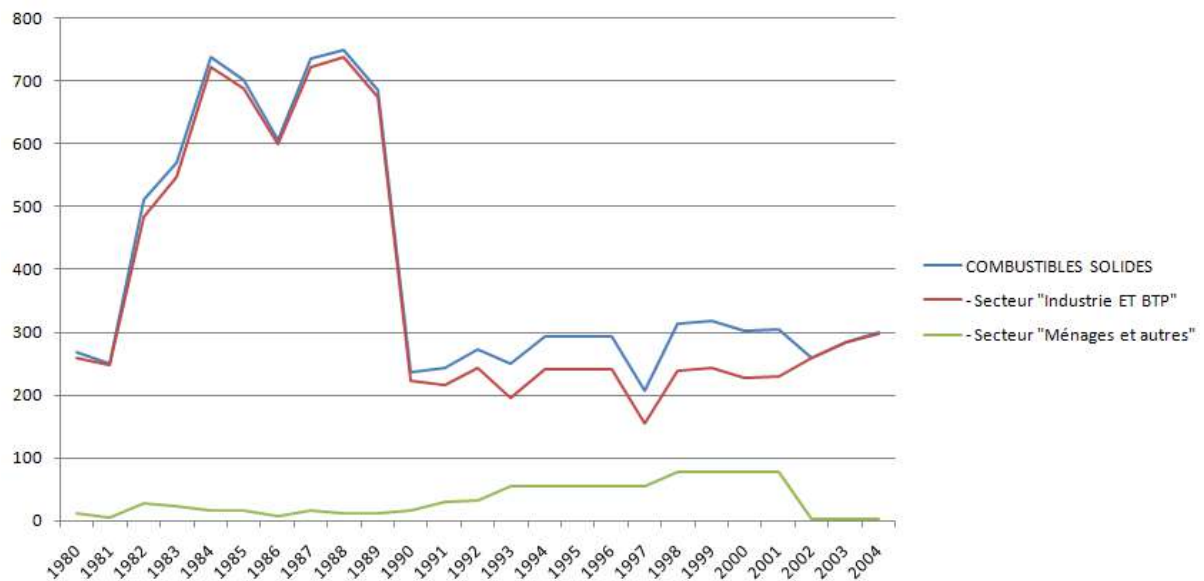


Fig 1- 7: Evolution de la consommation des combustibles et condensats. Source : S.Boukarta, d'après MEM.

La consommation du pétrole brut et condensat connaît une baisse globalement de 50 000 TEP en 1980 à moins de 5000 Tep en 2004 et son usage est exclusivement industriel.

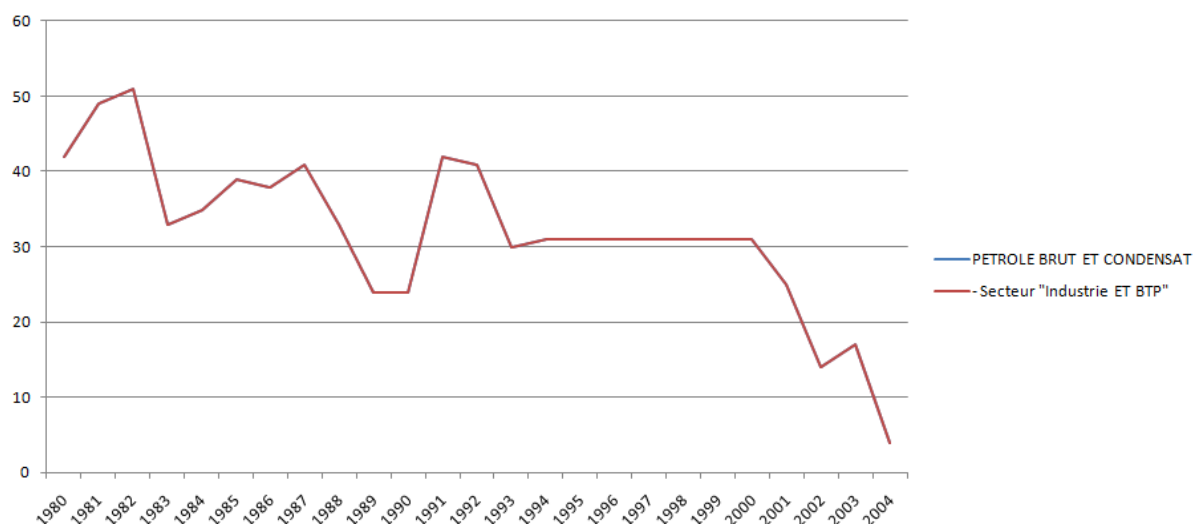


Fig 1- 8: Evolution de la consommation des combustibles et condensats. Source : S. Boukarta d'après MEM.

Les produits pétroliers (issus des raffineries représentant principalement les carburants) sont essentiellement consommés par le secteur du transport, suivi par les ménages et puis les industries. Tandis que la consommation du gaz naturel est dominée principalement par le secteur des ménages depuis la fin des années 1980, alors que le secteur de l'industrie et BTP présente une certaine stabilité et une augmentation de près de 500 000 TEP dans la période s'étalant de 1980 à 2004.

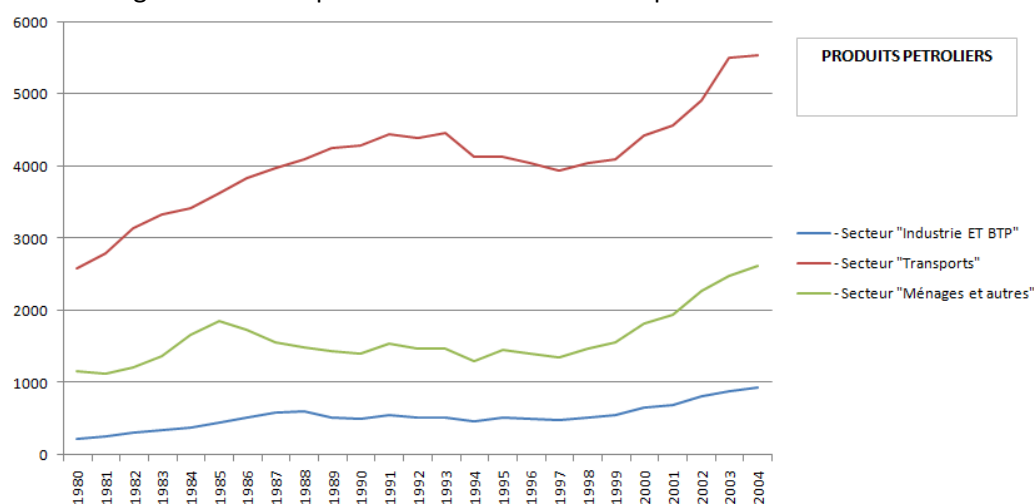


Fig 1- 9: Evolution de la consommation des produits pétroliers. Source : S. Boukarta d'après MEM.

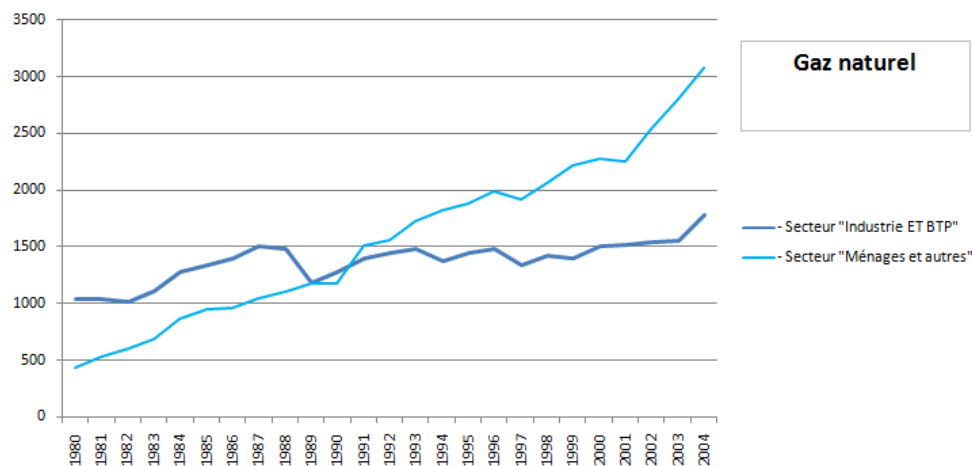


Fig 1- 10: Evolution de la consommation du gaz. Source : S. Boukarta d'après MEM.

Les autres gaz (GPL et butane) sont principalement utilisés par les ménages et enregistrent une tendance ascendante depuis 1980, en passant de 800 000 TEP à 1.8 millions de TEP. Le secteur de transport n'enregistre de véritable développement de la consommation du GPL qu'à partir des années 1990, pour passer de près de 100 000 à près de 390 000 TEP. Ceci s'explique par le développement des installations du GPL en voiture.

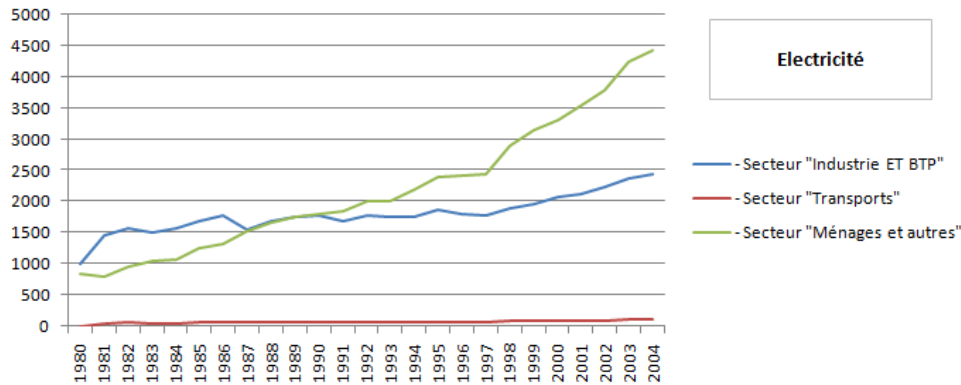


Fig 1- 11: Evolution de la consommation de l'électricité. Source : S. Boukarta d'après MEM.

Enfin, la consommation de l'électricité a connu, à son tour, un développement associé avec l'évolution démographique. La consommation de l'électricité est passée de moins de 1000 TEP en 1982 à près de 4500 TEP en 2004 pour le secteur des ménages. L'industrie et le secteur BTP viennent en deuxième position avec une consommation de 2500 TEP en 2004.

Si l'on compare la consommation de l'énergie toutes sources confondues, nous constaterons un usage quasi stable du pétrole brut autour de 60 millions de TEP, alors que le gaz enregistre une tendance ascendante dépassant en 1996 la consommation du pétrole en passant de 10 millions de TEP à plus de 70 millions de TEP (voir figure ci-dessous). Alors que les autres énergies primaires restent stables dans leur développement, ne dépassant pas les 1 millions de TEP entre 1980 et 2004.

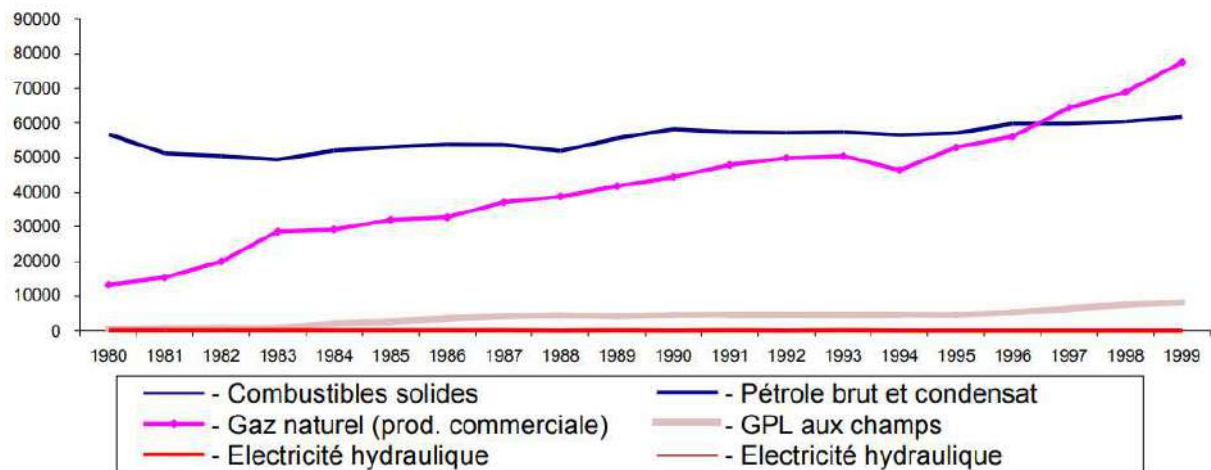


Fig 1- 12: Evolution de la consommation primaire de 1984-2004. Source, (MEM : 2015).

De toutes les consommations d'énergie que nous avons revues, le secteur des ménages semble jouer un rôle important dans l'évolution de la consommation d'énergie et c'est ce qui sera exploré dans la section suivante du chapitre.

1.2.4. Evolution de la consommation énergétique des ménages

La consommation finale des ménages constitue près de 70 % de la consommation finale, c'est pourquoi nous y portons un éclairage particulier. Ce secteur est considéré comme étant un levier potentiel pouvant apporter des économies d'énergie. En retraçant la consommation finale par habitant de 1980 à 2004 exprimée en Tep/habitant (voir figure ci-dessous), nous remarquons une augmentation dans l'usage de l'énergie par habitant passant 0.17 en 1980 à 0.35Tep/hab en 2004 et la consommation progresse pour atteindre 0.75 Tep/hab en 2012 (Aprue : 2014). Ceci peut être expliqué par le développement du pouvoir d'achat, qui fait que les ménages sont d'autant plus équipés dans les années 2000 que dans les années 1980. Une comparaison du PIB confirme ce constat.

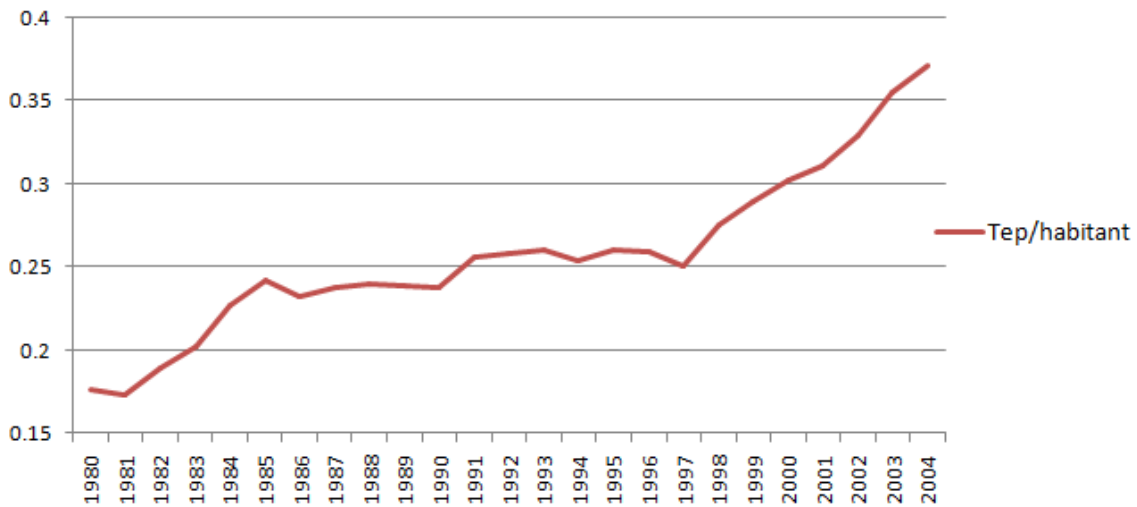


Fig 1- 13: Evolution de la consommation finale par habitant de 1984-2004. Source, (MEM : 2015). Réalisé par S.Boukarta à partir de ONS (2013) et MEM (2015).

D'après les données de l'Aprue (2014), la consommation finale des ménages est portée plus par les logements individuels (95%) que par le collectif (5%). Ceci dit, la typologie résidentielle sur le territoire national est portée par l'individuel, consommateur géant de l'énergie.

1.2.5. Répartition de la consommation de l'énergie dans le secteur résidentiel

Le parc immobilier algérien est en progression et il a touché en 2008 plus de 6.6 millions de logements (ONS : 2011). Ce chiffre connaîtra certainement une croissance si l'on termine le programme présidentiel qui consiste à construire plus de 1 million de logements. Par ailleurs, les données de l'Aprue (2007 : 20014) de 2005 et 2012 présentant la consommation de l'énergie dans le secteur résidentiel révèlent un taux de croissance de la consommation de près de 7.4% annuellement, avec une dominance dans l'usage du gaz même si le taux de raccordement en gaz en Algérie en 2012 a été évalué à 47% contre 99% pour l'électricité (Aprue : 2014). La prépondérance du secteur des ménages s'est accentuée en passant de 34% en 2005, à 42% en 2012 (Aprue : 2007 et 2014) et connaîtra une croissance qui peut atteindre 56 % en 2020 et 58% en 2030 (Cherfi : 2010).

La consommation du gaz en 2012 a dépassé les 7 millions de Tep, ce qui constitue plus de 60 % de la consommation totale des produits gazeux, alors que l'électricité représente 1.4 millions de Tep en 2012 ce qui constitue 17% de la consommation finale dans le résidentiel. De par l'importance de ces consommations énergétiques, le secteur résidentiel constitue le premier secteur grand

consommateur de l'énergie (Aprue : 2014). Mais si l'on examine la source de l'énergie électrique qui provient principalement et à hauteur égalant les 98% des énergies fossiles, on se rendra rapidement compte que le secteur résidentiel consomme plus de produits gazeux. Une étude a été menée par le CNERIB afin d'identifier la consommation réelle du gaz et de l'électricité d'un ménage habitant un logement de 66 m² à Alger, composé de 4 membres. Cette étude a donné une consommation annuelle de l'ordre de 15.4 m³ de gaz par m² et 2200 kWh d'électricité (Sénit : 2007). Si l'on convertit la consommation du gaz en kWh⁴, l'indice de performance énergétique du logement donnerait un IPE de 191 kWh/m².an ce qui classe ce logement dans la catégorie D, selon la labellisation européenne. La consommation du gaz représente le quintuple de la consommation électrique et ceci est constaté aussi bien à l'échelle du bâtiment qu'à l'échelle de la ville (Boukarta et Berezowska-azzag : 2017-a). Les activités consommatrices dans le logement algérien ont fait l'objet de recherches faites par l'Aprue (2008), qui révèlent que l'éclairage constitue la première grande consommation avec 32 %, suivie par le réfrigérateur 28%, alors que la climatisation, selon cette étude, ne représente que 10 % de la facture énergétique (voir figure ci-dessous). Cette étude est à considérer à titre indicatif car ces grandeurs de consommation varient de logement à logement et de ville en ville. Selon cette même étude, l'éclairage et le réfrigérateur constitue 70 % de la consommation moyenne des ménages (Voir figure ci-dessous).

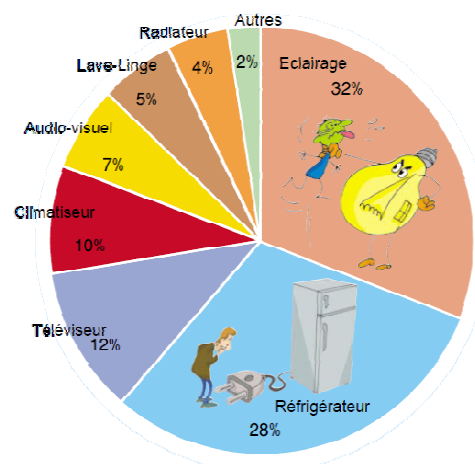


Fig 1- 14: Activités consommatrices d'un ménage type en Algérie. Source : Aprue(2008).

1.2.6. Croissance de la demande et tarissement de l'offre énergétique

Le développement économique de l'Algérie dépend des hydrocarbures en termes de réserves, de demande nationale d'énergie et de sa valeur sur le marché. L'accroissement de la rente pétrolière entre 2001 et 2007 a impacté directement le PIB en y enregistrant une croissance moyenne de 4 % par an. Les ressources énergétiques fossiles en Algérie sont encours de tarissement face à une demande en croissance continue, poussée par la démographie. Pour dessiner le panorama des réserves fossiles il serait important de distinguer le gaz du pétrole. En effet, selon une étude « tendancielle » prospective réalisée par S.Cherfi (2010) pour l'an 2030 basée sur le développement tendanciel caractérisé par une croissance démographique estimée à hauteur de 1.6% par an et une croissance économique de 3% par an pour la période de 2007-2030, le taux de croissance de la demande énergétique connaîtra une croissance comprise entre 2.8 (scénario faible) et 4.3% (scénario

⁴ 1m³ de gaz = 10.3 kWh (source : mesfournisseurs.be)

fort). Selon le scénario fort, le marché absorberait près de 61.5 Mtep en 2020 et plus de 91 Mtep de pétrole en 2030, ce qui équivaut à près de 2 Tep d'énergie primaire par habitant, alors que selon le scénario faible, la demande énergétique du marché national variera de 52 à 66 Mtep de pétrole entre 2020 et 2030. Aussi, cette étude révèle un développement important dans l'industrie gazière au point où elle prendrait des parts de marché au pétrole et représenterait plus de 70% de la consommation nationale de l'énergie primaire, alors qu'elle ne représentait que 33% en 1965 (Cherfi : 2010). Le scénario fort de l'étude prévoit une croissance de la consommation nationale du gaz de 34.7 Mtep en 2007 à plus de 40 Mtep en 2020 et 63 Mtep en 2030. Et pour le pétrole, le marché national consommant 12 Mtep de pétrole en 2007 connaîtra une croissance de l'ordre de 20 et 27.6 Mtep entre 2020 et 2030. Alors que selon le scénario faible, la demande nationale du pétrole passerait 18 à 23 Mtep entre 2020 et 2030.

L'espérance de vie des énergies fossiles a donné lieu à plusieurs études prospectives. Dans toutes ces études (Slougui : 2010, Cherfi : 2010, BP Stat review : 2015, Benamirouche et Belkacem : 2014), l'espérance de vie calculée par le rapport réserves/production donne l'avantage au gaz, avec près de 53-57 ans et de 16.7-21 ans pour le pétrole. En d'autres termes, d'ici l'horizon 2030, l'Algérie ne pourra produire que 700 000 barils de pétrole par jour (Cherfi : 2010), ce qui couvrira à peine la demande nationale et que les exportations du gaz vont s'intensifier pour couvrir le manque en pétrole, ce qui donne en tout une espérance de vie aux énergies fossiles, gaz et pétrole confondus, de 35 ans. Selon Cherfi (2010), en s'appuyant sur l'hypothèse considérant 41 milliards de BOE⁵ comme réserves potentiels et sur l'espérance de vie des hydrocarbures à 35 ans, à partir de 2008 et en variant le rythme de production primaire avec une croissance de 2% (scénario A) et de 3% (scénario B), la production se stabilisera à hauteur 1.5 milliard BOE jusqu'à 2035 pour qu'une régression de l'ordre de 2% annuellement s'enclenche jusqu'à l'an 2042 où l'Algérie ne pourra point exporter et pourrait satisfaire à peine la demande nationale en termes d'énergie.

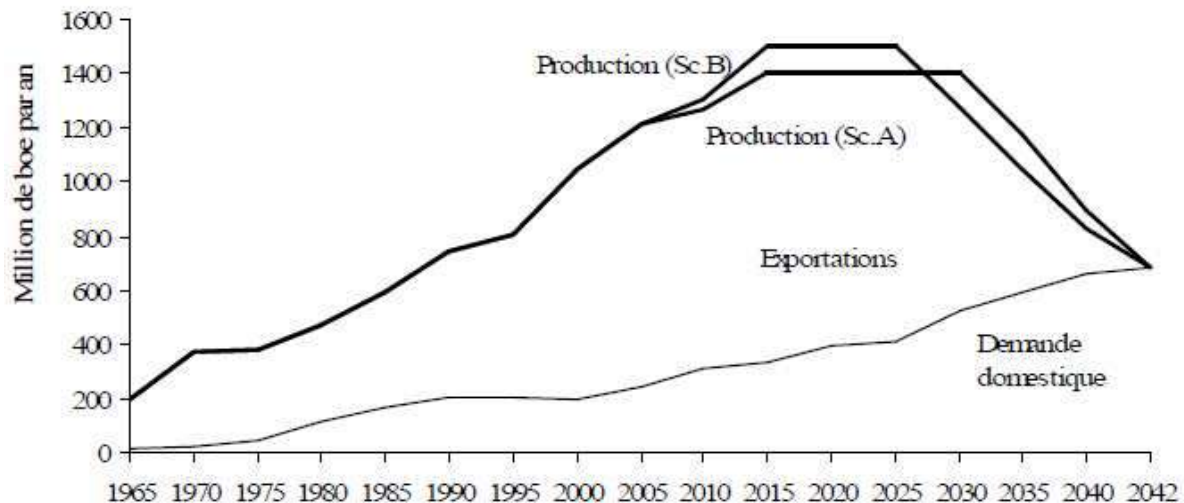


Fig 1- 15: Projection de la production de l'énergie, horizon 2042. Source : Cherfi (2010).

Les données de la BP *Statistical Review* (2015), (voir graphe ci-dessous) estiment, sur la base des réserves de pétrole prouvées, la capacité à hauteur de 13 milliards de BOE, soit 0.96% des réserves mondiales (Slougui : 2010), alors que l'espérance de vie en fin 2014 des hydrocarbures en Algérie

⁵BOE : Baril équivalent pétrole.

n'est que de 21.9 années. Pour le gaz, les réserves sont plus importantes et l'espérance de vie à partir de la fin de 2014, avec 4.5 milliards de m³ comme réserves, soit 2.43% des réserves mondiales (Slougui : 2010), est estimé à près de 54.1 ans, ce qui s'aligne presque avec l'étude prospective de Cherfi (2010). Si les études prospectives se révèlent identiques pour le développement réel des années futures, l'Algérie perdra de 6,8 à 14,9% la part du gaz dans le marché européen (Benamirouche et Belkacem : 2014).

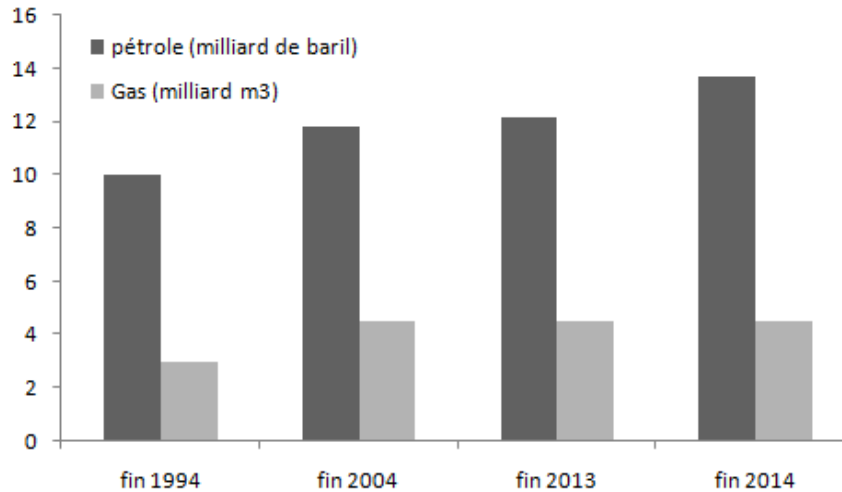


Fig 1- 16: Réserves prouvées entre 1994 et 2004. Source : S.Boukarta à partir de BP *Statistical Review* (2015).

L'Algérie a des ressources considérables en termes d'hydrocarbures, mais la croissance démographique et la dépendance totale au revenus des hydrocarbures, avec toute l'instabilité que connaît le marché, ne donne point à l'Algérie la liberté de choisir, ou pas, une politique ouvrant le champs large pour une hybridation et un mix énergétique, pour faire face à toute possible incidence des incertitudes futures, liées notamment aux effets de changement climatique.

1.3. Changement climatique en Algérie, entre vulnérabilité et stratégies d'atténuation

Toute consommation d'énergie fossile émet des gaz à effet de serre dans l'atmosphère et risque d'accentuer les impacts environnementaux qui en découlent, dont le réchauffement climatique constitue la principale manifestation. D'après les travaux de GIEC et IPCC (ipcc.ch), d'ores et déjà et à partir de l'an 2000 à l'an 2100, la terre connaîtra en moyenne une augmentation inévitable de 0.1° chaque décennie, avec des élévations partielles et par région qui pourront atteindre les 3 voire les 4°C. Le groupe GIEC a développé 40 scénarios, entre tendanciel et proactif (*SRES Special Report on Emissions Scenarios 2013*), conçus sur la base de 4 principales familles : A1, A2, B1 et B2 (GIEC : 2000)⁶ regroupées selon les principales forces motrices : le développement économique, technologique, démographique et la convergence régionale⁷. Sur la base de ces quatre familles de

⁶Résumé à l'intention des décideurs, Scénarios d'émissions, GIEC : 2000, source : <https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-fr.pdf>

⁷Les scénarios majeurs sont issus d'une matrice de croisement de ses forces motrices : (i) la famille A1 prévoit un développement démographique rapide, culminant au milieu du siècle puis déclinant, une croissance économique très rapide, le développement de nouvelles technologies plus efficaces et une convergence culturelle entre les régions ; (ii) la famille A2 prévoit un monde très hétérogène caractérisé par une autosuffisance et la préservation des identités locales, un accroissement continu de la population mondiale, une croissance économique et le développement technologique plus lents ; (iii) la famille B1 décrit un monde à développement démographique similaire au scénario A1, une croissance économique rapide orientée vers les services et l'information, l'introduction des technologies propres, l'utilisation des ressources de manière

développement, 40 scénarios ont été adoptés pour évaluer l'évolution du phénomène des émissions des gaz à effet de serre, de réchauffement climatique et l'élévation du niveau de la mer. Le tableau ci-dessous résume la situation future selon certains scénarios et montre une possible élévation de température pouvant dépasser les 4°C et une élévation de niveau de la mer pouvant atteindre 0.6 m à horizon de 2100.

Tableau 1- 1 : Préviction de l'impact des changements climatiques selon les scénarios à horizon 2100 relatif à l'état de 1980-1999). Source : <https://www.ipcc.ch>

Case	Temperature Change (°C at 2090-2099 relative to 1980-1999) ^a		Sea Level Rise) (m at 2090-2099 relative to 1980-1999) Model-based range excluding future rapid dynamical changes in ice flow
	Best estimate	Likely range	
Constant Year 2000 concentrations	0.6	0.3 – 0.9	NA
B1 scenario	1.8	1.1 – 2.9	0.18 – 0.38
A1T scenario	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.45
B2 scenario	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.43
A1B scenario	2.8	1.7 – 4.4	0.21 – 0.48
A2 scenario	3.4	2.0 – 5.4	0.23 – 0.51
A1FI scenario	4.0	2.4 – 6.4	0.26 – 0.59

La carte ci-dessous met en exergue l'impact des changements climatiques pour l'Algérie, où la température pourrait augmenter de 1° selon les trois scénarios entre 2000-2029 et qui peut varier de 2° pour le scénario B1, jusqu'à 4° pour le scénario A2. Le scénario A1B et A2 affichent une élévation potentielle de la température pouvant dépasser les 6° au niveau du pôle nord ce qui risque d'accélérer la fonte de la banquise, qui élèvera *ipso facto* le niveau de la mer.

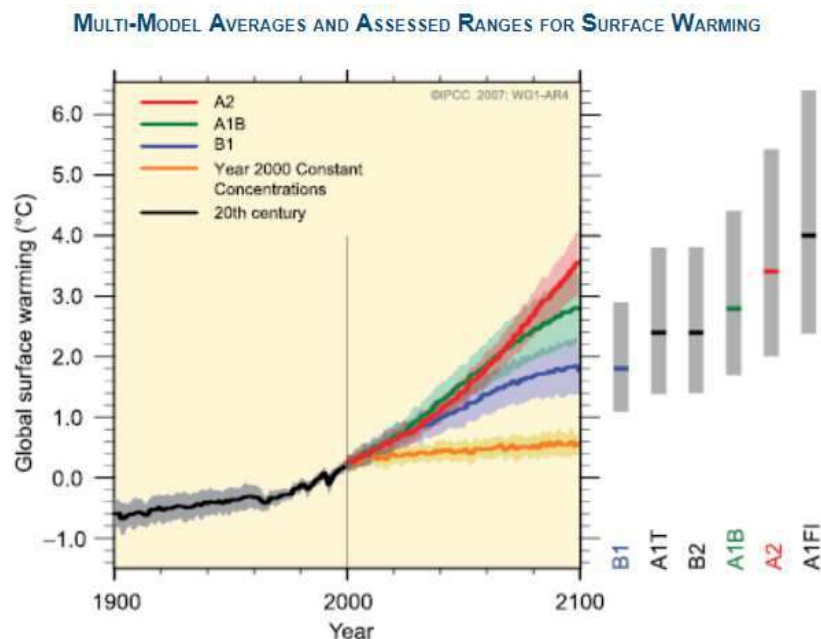


Fig 1- 17: Evolution de la température de surface selon les scénarios de développement. Source : IPCC (ipcc.ch).

efficente, où l'accent sera mis sur des solutions mondiales de viabilité sociales, économiques et environnementales ; (iv) enfin, la famille B2 prévoit un monde où l'accent sera mis sur des solutions locales visant la viabilité sociale, économique et environnementale, la population mondiale s'accroît d'une manière continue mais à un rythme plus faible que dans le scénario A2, le développement économique et technologique moins rapide que dans les scénarios A1 et B1.

1.3.1. Evolution des émissions de gaz à effet de serre en Algérie

Le gouvernement algérien a procédé à deux inventaires pour évaluer le taux d'émission des gaz à effet de serre en 1994 et pour l'an 2000 (UN : 2011, Mate : 2010, Sahnoun et al :2013), en considérant les gaz désignés par le protocole de Kyoto, dont les 6 gaz directs (CO_2 , CH_4 , HFC, N_2O , SF_6 et PFC) et les 4 gaz indirects (NO_x , CO, COVM et SO_2). Le graphe ci-dessous décrit la part des émissions de chaque gaz entre 1994 et 2000, sur lequel on peut bien constater une augmentation des émissions due à la croissance dans la production énergétique.

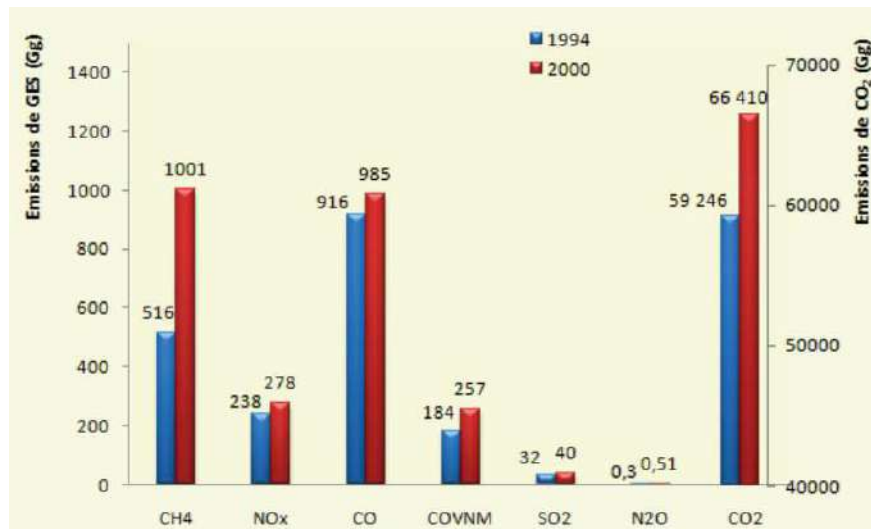


Fig 1- 18: Evolution des émissions des Gaz à effet de serre. Source : Mate (2010)

Les émissions de GES en Algérie sont passées de 100,34 en 1994 à plus de 103,14 millions en 2000 rien que pour le gaz (UN : 2011) et à 121,31 millions de Kg eq CO_2 globalement, soit 4.1 Teq CO_2 /hab.an, alors qu'elles n'étaient que 3.1 Tonnes en 1994 (Sahnoun et al : 2010). Si l'on compare les émissions des GES par habitant entre 1990 et 2014 (Banque Mondiale : site web) à travers les pays du monde on remarque une tendance ascendante globalement, sauf pour les Etats Unis et les Emirats Arabes Unis et les pays de l'Union Européenne. Cependant les Etats Unis, le Qatar et les Emirats arabes affichent un taux d'émission de CO_2 très élevé, dépassant le 15 T/hab. Mais si l'on ne considère que les pays en voie de développement, leur taux d'émission est faible par rapport aux pays développés. L'Algérie cependant affiche une émission de près de 4 T/hab, représentant presque les émissions de GES de la Tunisie et du Maroc considérés ensemble.

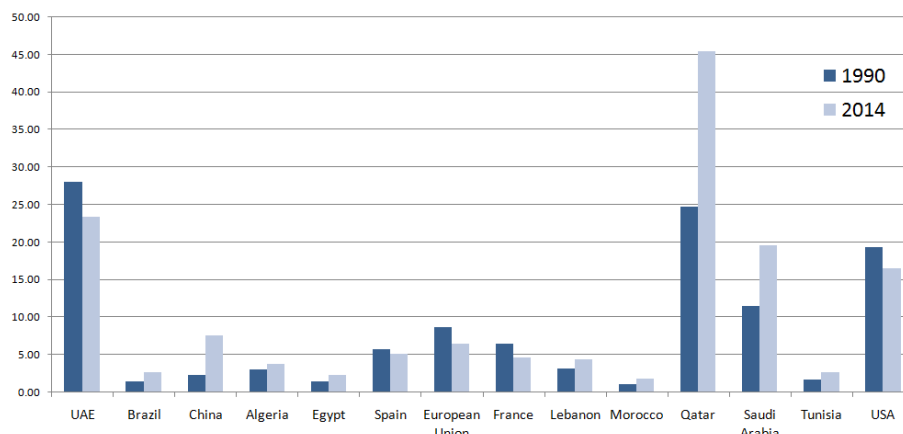


Fig 1- 19: Evolution émission de Teq CO_2 entre 1990 et 2014. Source : data.worldbank.

Par ailleurs, le taux d'émission des GES rapporté à la production de 1\$ PPP (Parité de pouvoir d'achat) du PIB révèlent les performances économiques et le degré d'engagement des pays dans la politique de réduction des GES. Une comparaison effectuée par la Banque Mondiale (site web) entre les données de 1990 et de 2014 révèle une réduction considérable des GES pour produire la même valeur ajoutée, passant par exemple pour la Chine de plus de 2T/1\$ à près de 0.5T/1\$ du PIB. Tous les pays présentés sur le graphe montrent une réduction et ceci témoigne de la performance et la diversification des moyens de production. L'Algérie est passée de 0.48T/\$ en 1990 à moins de 0.25t/1\$. Cette réduction est due principalement aux efforts consentis par L'Etat pour réduire les GES, surtout à travers l'industrie énergétique (Voir le graphe ci-dessous).

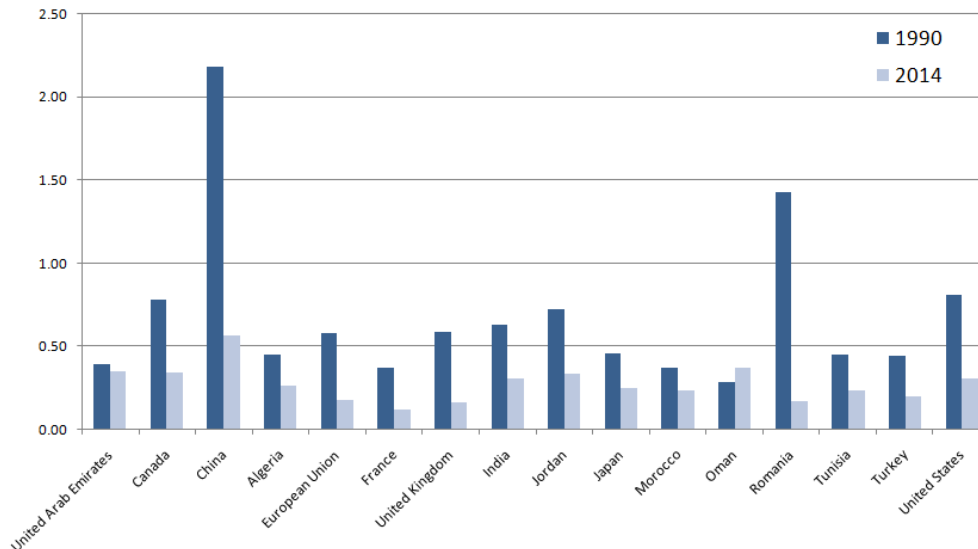


Fig 1- 20: Evolution émission Emission de CO2 par 1\$ PPP du PIB entre 1990 et 2014.

Source : data.worldbank.

Kerbachi et Sahnoune (2011) rapportent que pour produire 1\$ de PPP, l'Algérie émet 0.26 Kg eqCO2 en 2014, alors que pour produire la même richesse, la France n'en émet que 0.11⁸. Si l'on extrapole la consommation de l'énergie à l'horizon 2030 avec l'hypothèse d'une évolution de la consommation de l'énergie de 4 % annuellement à partir de 23.2 MTep en 2008, l'Algérie pourrait consommer près de 50.08 MTep et émettre près de 180 MT de CO2 (Kerbachi et Sahnoune : 2011).

1.3.2. Empreinte écologique en Algérie

Les changements climatiques présentés succinctement ci-dessus sont le résultat d'un développement économique déséquilibré à faible durabilité (Boutaud : 2005). Pour évaluer le déséquilibre ou la durabilité d'un pays, l'empreinte écologique se pose comme un concept défini comme la surface nécessaire pour pourvoir aux besoins d'une population donnée et absorber ses déchets (Boutaud : 2005). En d'autres termes, l'empreinte écologique est le seuil de reproductibilité des ressources ou de la biocapacité. Elle est exprimée en hectare par habitant et le seuil de l'empreinte écologique est arrêtée à 1.8 hectare par habitant⁹. Sur la base de cet indicateur il est possible d'estimer le jour où l'on dépasse le seuil de biocapacité de la Terre, par exemple le site internet *Overshootday* a souligné

⁸ Ceci pourrait être expliqué par l'origine nucléaire de l'énergie utilisée en France, sans pour autant oublier le fait que la France a délocalisé une bonne partie de son industrie lourde et polluante hors territoire français.

⁹ Dans d'autre référence on trouve que le seuil de l'empreinte écologique est estimé à 2 et 2.1 ha/hab selon la WWF suisse : L'empreinte écologique Dossier pour enseignants Octobre 2010.

la date de 2 Août 2017 comme le jour de dépassement de seuil de disponibilité des ressources, alors que pour 2016 ce jour était le 8 Août.

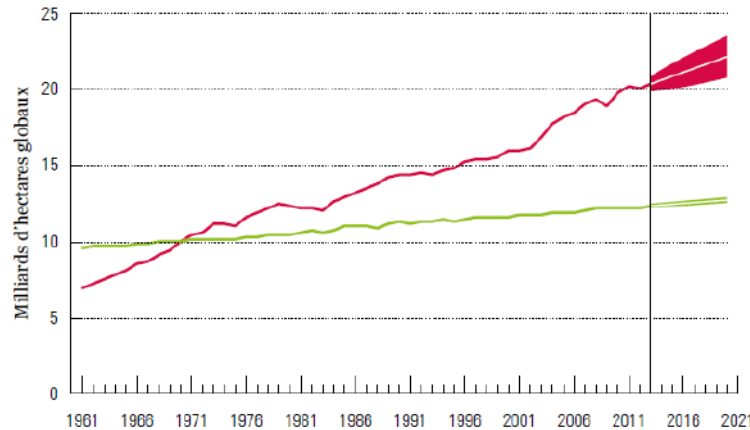


Fig 1- 21 : Evolution de l'Empreinte écologique globale entre 1961 et 2012 et extrapolation statistique pour la période 2013-2020. Source : wwf (2016).

Globalement, l'empreinte écologique de la Terre est estimée à 2.7 Ha/hab en 2008, alors que pour l'Algérie, elle est estimée à 1.6 pour la même année et 1.85 Ha/hab en 2011 (Sahnoune et al : 2013). Dans d'autres pays comme la France, l'empreinte écologique est plus de 4Ha/hab en 2008¹⁰. Ainsi, le développement économique de l'Algérie n'a pas encore dépassé le seuil de reproduction de ses ressources. D'après Boutaud (2005) un développement qualifié de durable doit considérer conjointement l'empreinte écologique et l'indice de développement humain (IDH), qui est un indice composite développé par le PNUD avec l'aide d'Amartya Sen, prix Nobel en économie (1998) et Mahbub ul Haq. Cet indicateur prend en considération le PIB, l'espérance de vie et l'éducation. Un pays est considéré comme développé si son IDH dépasse la valeur de 0.8. En d'autres termes, selon cette approche, la durabilité d'un développement d'un pays ne pourrait être considérée que si l'IDH est supérieur à 0.8 et son empreinte écologique ne dépasse pas les 1.8Ha/hab.

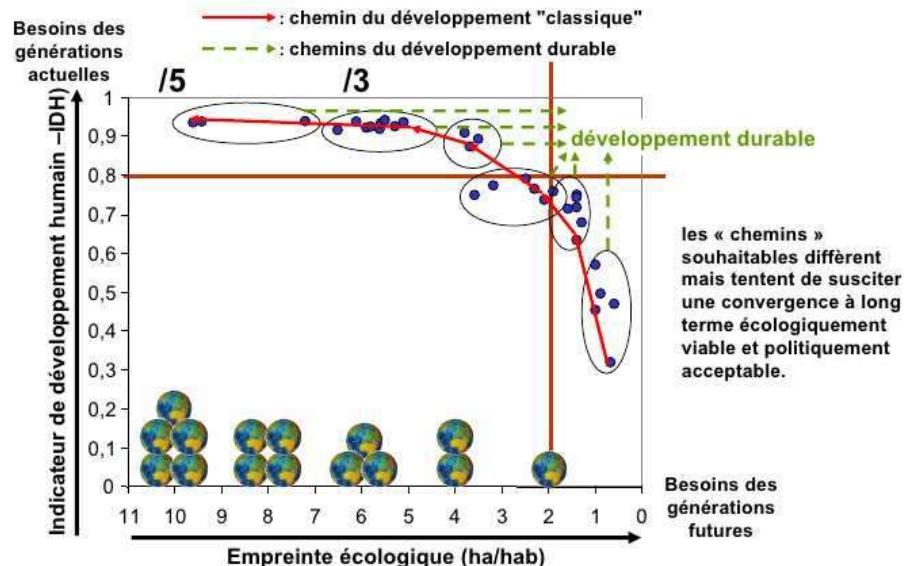


Fig 1- 22 : les chemins de durabilité. Source : Boutaud (2005)

¹⁰Cette même empreinte est estimée pour l'Algérie à 1,98 Ha/hab en 2015 (Global Footprint Network, www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/trends/algeria/) et son évolution est jugée négative (voir aussi le *Rapport Empreinte Ecologique de l'Afrique 2012*, de la Banque Africaine de Développement, www.afdb.org).

En se basant sur la figure ci-dessus, illustrant les chemins de la durabilité, la case de la durabilité reste désespérément vide car les pays dits développés ont une empreinte écologique très élevée, dépassant les 7 Ha/hab pour certains d'entre eux et ont un IDH bien supérieur à 0.8. Tandis que les pays en développement présentent une configuration inverse, un IDH bien inférieur à 0.8 et une empreinte écologique au-dessous de 1.8 ha/hab.

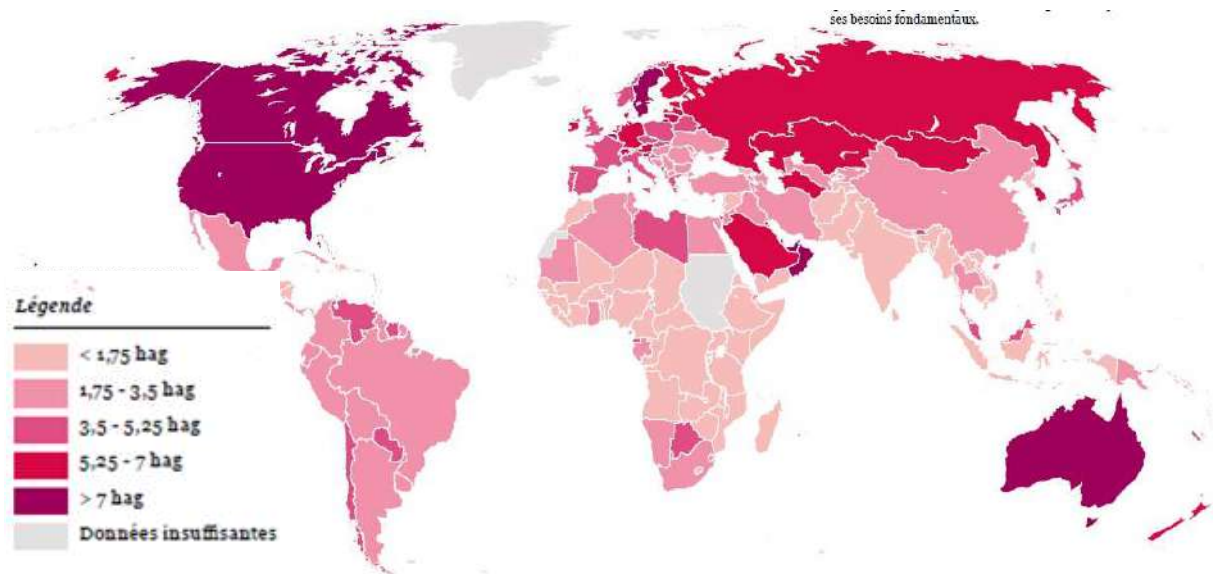


Fig 1- 23 : Empreinte écologique en 2012. Source : WWF (2016 :78)

1.3.3. De l'état de fait climatique aux solutions

Comme les effets des changements climatiques sont un fait vécu, les gouvernements se sont organisés pour atténuer les risques environnementaux en ratifiant les protocoles internationaux. L'Algérie s'est aussi engagée sur cette voie en ratifiant le protocole de Kyoto en février 2005 (Abada : 2006), dont les principales conclusions engagent principalement les pays industriels (37 en tout sans les USA) pour réduire les émissions de GES de 5% pour la période de 2008 à 2012. Cet engagement a été partiellement honoré grâce aux mécanismes de fonctionnement du protocole et qui sont : un mécanisme de permis d'émission, le mécanisme de financement et enfin le mécanisme de développement propre. L'Algérie a aussi signé la convention-cadre des Nations unies en 1993 pour confirmer son engagement visant la stabilisation des émissions des gaz à effet de serre. Dans ce cadre, le groupe GIEC en collaboration avec le Ministère de l'environnement et de l'aménagement du territoire (MATE) a publié en 2001 un plan d'action visant l'élaboration d'un plan national pour l'atténuation des changements climatiques. L'étude vise le développement national à horizon de 2020. Ce rapport comporte un inventaire des émissions des gaz à effet de serre par secteur réalisé par le groupe GIEC en 1996, et deux grands registres d'action, dont le premier registre vise l'ensemble des actions visant la stabilisation des gaz à effet de serre et l'autre propose une adaptation aux changements climatiques.

Selon ce rapport, en matière d'atténuation des effets des émissions des gaz à effet de serre notamment, l'Algérie a consenti des efforts importants dans les procédés de l'énergie primaire avec l'aide de la coopération internationale. L'Algérie s'est orientée vers l'encouragement de l'utilisation du gaz naturel en y facilitant l'accès grâce à son système de tarification et aux efforts importants pour convertir toutes les centrales produisant de l'électricité au fonctionnement avec le gaz naturel, une source fossile certes mais relativement propre (MATE+GIEC : 2001). L'Algérie joue un rôle important à l'échelle régionale dans l'alimentation en gaz naturel et en gaz naturel liquéfié des pays voisins. Aussi, en termes de procédés, grâce à la rénovation de ses installations pétrolières et gazières l'Algérie a réduit significativement les émissions des gaz à effet de serre fugitifs et tend à réduire de 50% la quantité des gaz brûlés au niveau des torchères et la réinjection du gaz dans les puits de pétrole. L'encouragement de l'utilisation des énergies renouvelables et la rationalisation de la consommation de l'énergie dans le secteur de l'industrie, ménages et transport, en encourageant surtout l'usage du GPL, et enfin une meilleure gestion et valorisation des déchets constituent aussi deux engagements importants.

En matière d'adaptation aux changements climatiques les efforts de l'Algérie devaient porter principalement, selon le rapport, sur la préservation des ressources naturelles et les activités socio-économiques. Le plan d'action vise la sauvegarde des ressources en eau en termes de qualité et de quantité et à encourager le dessalement des eaux de mer. Dans le secteur agricole, l'adaptation devrait se faire par reconversion des jachères au profit de l'arboriculture, la viticulture et l'élevage et optimisation de l'irrigation.

Ce plan d'action présenté succinctement esquisse l'arrivée du plan national de la maîtrise de l'énergie (PNME) et ouvre le débat autour du plan climat qu'on abordera dans la section suivante.

1.4. Vers une planification énergétique

Nous avons montré *supra* : (i) premièrement la fragilité et la vulnérabilité de l'économie nationale mono-ressourcielle via l'intensité énergétique et la part dominante des hydrocarbure dans le PIB du pays ; (ii) et deuxièmement, à travers la comparaison de l'évolution de la consommation nationale de l'énergie fossile, gaz et pétrole ventilés sous le rythme de la production, l'exportation et celui des réserves confirmés, que l'Algérie se trouvera un jour, 2042 selon les études prospectives, sans possibilité d'exportation et sous la nécessité d'importation. Cette réalité met terme à l'illusion de la richesse en énergie fossile (Martinez : 2010) et pousse le gouvernement à introduire sérieusement une véritable politique énergétique à travers son Plan national de maîtrise de l'énergie (PNME), qui tend à se développer principalement autour de deux grands axes : une pluralité énergétique en introduisant les énergies renouvelables, et une efficacité énergétique ayant comme objectif la rationalisation de l'usage de l'énergie. La politique énergétique nationale se déploie autour de la loi 99-09 portant sur la maîtrise de l'énergie.

1.4.1. Stratégies déployées en Algérie pour atténuer la crise énergétique

a. Stratégie institutionnelle

La loi 99-09 de 1999 relative à la maîtrise de l'énergie est considérée comme l'assise juridique principale à partir de laquelle une batterie de lois, d'arrêtés et de décrets ont été promulgués pour mettre en place la politique nationale de la maîtrise de l'énergie. Le schéma ci-dessous décrit l'apport important de cette loi en termes de cadrage institutionnel et de législation, avec des textes réglementaires suivant l'objectif de la maîtrise de l'énergie. La loi 99-09, structurée en 9 chapitres, a donné naissance au FNME, le fond national pour la maîtrise de l'énergie soutenu par la taxe sur la consommation de l'énergie, imposée avec la loi de finance 2000. Le FNME assure le fonctionnement du PNME adopté par décret en 2004. Le PNME s'appuie sur le FNME, le CIME comme organisme de coordination¹¹ et l'APRUE comme agence de conception du PNME¹².

Le PNME est conçu à horizon 2030 et prévoit deux grands volets d'action (Aprue : 2007) : (i) une efficacité énergétique portée sur la rationalisation dans l'usage de l'énergie via les secteurs grands consommateurs et qui sont le résidentiel, le tertiaire, l'industriel, l'agricole et le transport ; (ii) l'introduction progressive des énergies renouvelables (EnR) dans le bilan national pour que le renouvelable présente près de 40% de la demande énergétique.

¹¹ Conseil intersectoriel de la maîtrise de l'énergie. L'installation du CIME ne s'est faite qu'en 31 janvier 2017.

¹² L'Aprue, l'Agence nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie, a été instaurée par décret présidentiel 85-235 en 1985 et fonctionne sous la tutelle du Ministère de l'énergie. Sous les décrets 87-08, 92-73 et 04-314, le rôle de l'APRUE s'est précisé pour devenir comme suit : (i) La coordination et l'animation de la politique nationale de maîtrise de l'énergie ; (ii) La mise en œuvre et le suivi du Programme National de Maîtrise de l'Energie (PNME) ; (iii) La sensibilisation et la diffusion de l'information sur la maîtrise de l'énergie en direction des différentes cibles ; (iv) Le montage de programmes et de projets sectoriels en partenariat avec les secteurs concernés (Industrie, Bâtiment, Transports et Agriculture).

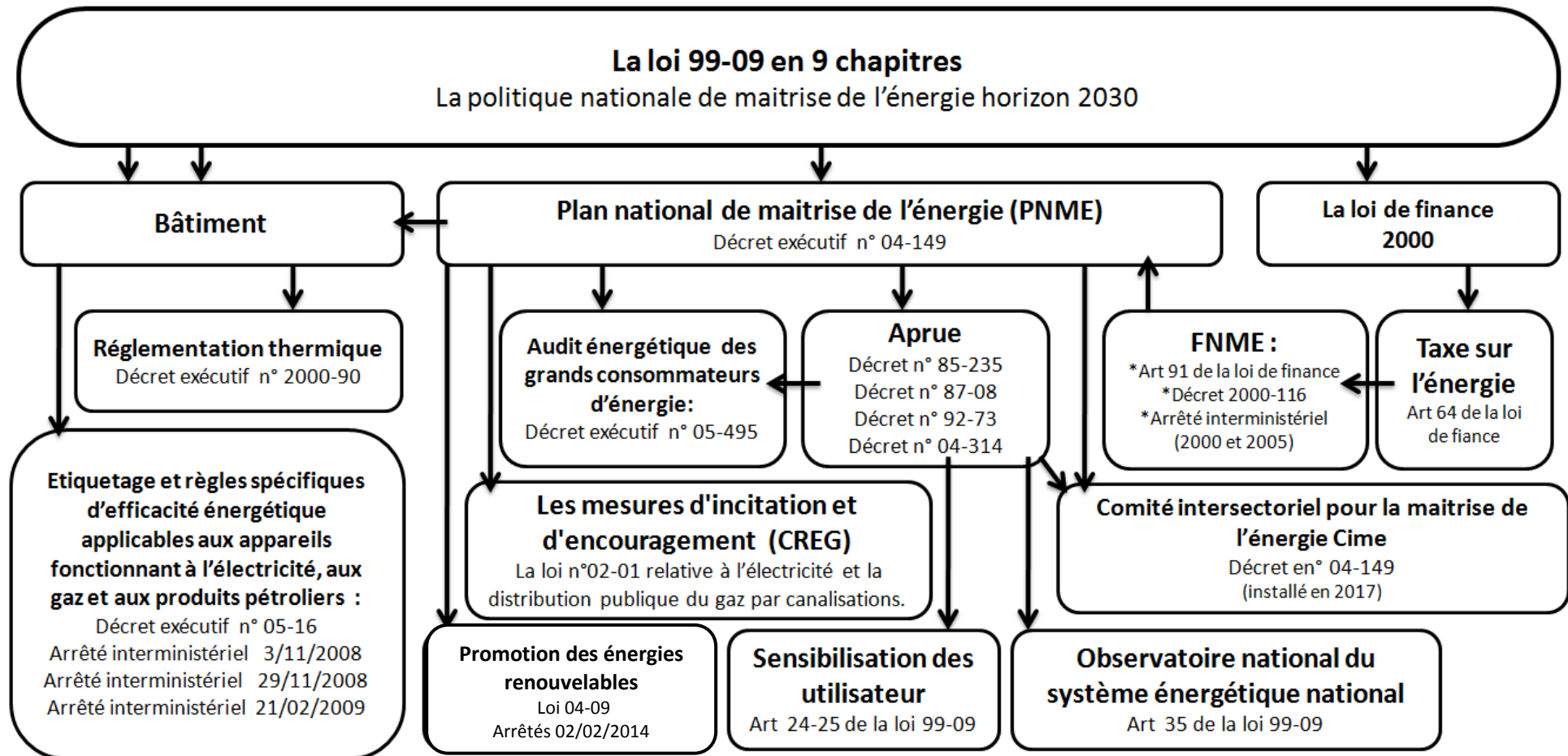
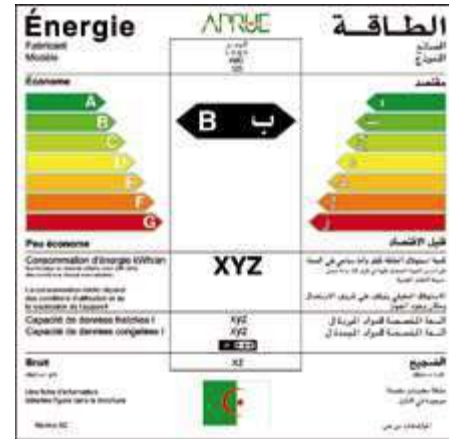


Fig 1- 24 : Cascade réglementaire provoquée par la loi 99-09. Source : S. Boukarta.

Les mesures d'incitation et d'encouragement aux investisseurs prévues par la loi 99-09, se sont matérialisées via la loi 02-01 qui prévoit des avantages financiers, fiscaux et en matière de droits de douane qui peuvent être accordés pour les actions et les projets qui concourent à l'amélioration de l'efficacité énergétique et à la promotion des énergies renouvelables.

La partie réglementaire portant sur le bâtiment comprend deux volets : (i) Par le truchement du décret 05-16, et les arrêtés interministériels de 2008 et 2009, l'étiquetage des appareils fonctionnant à l'électricité, aux gaz, aux produits pétroliers. L'étiquetage classe les appareils de la classe A, la plus efficiente à classe G, la moins efficiente, pour que le consommateur puisse choisir en ayant l'efficacité énergétique de l'appareil en question comme critère de choix. L'étiquetage concerne directement les équipements les plus énergivores comme le réfrigérateur, congélateur, le climatiseur, les lampes et les machines à laver. (ii) la réglementation thermique introduite par le décret 2000-90 qui prévoit les normes de conception thermique des bâtiments neufs. Enfin, la certification des bâtiments n'est pas encore légiférée quoique citée dans la loi 99-09 en ses articles 16-19, et selon un responsable du CNERIB, une proposition de certification est en cours d'étude. Et l'individuel n'est pas concerné par la réglementation thermique selon l'article 12 de la loi 99-09.



Entre autre, la loi 99-09 prévoit des procédures de contrôle et sanctions en ses articles 40-50, mais cette partie reste sans effet puisque la procédure du contrôle de l'efficacité énergétique des bâtiments (art 16-19) n'a pas été suivie par un décret ou arrêté expliquant les modalités d'application.

b. Stratégie de formation et de recherche-développement

Pour mener à bien la politique énergétique, l'Algérie s'est penchée sur la recherche-développement pour acquérir et développer les technologies (principalement le photovoltaïque, le solaire thermique, la géothermie et la biomasse) via des centres de recherche spécialisés, tels que le CDER, l'UDES et le CNERIB¹³ qui coopèrent avec : (i) NEAL qui est une société de production des panneaux solaires montée en partenariat public-privé ; (ii) et avec l'Aprue qui est l'organisme principal de matérialisation du plan national de la maîtrise de l'énergie et qui fait aussi des formations de recyclage destinés aux architectes et ingénieurs dans le domaine de la réglementation thermique (CTBAT). Dans la même lancée, l'Algérie s'est dotée d'un Institut national des énergies renouvelables (CDER : 2011) sis à Hassi R'mel, qui s'ajoute aux universités, écoles et instituts qui forment des architectes et ingénieurs orientés sur la performance énergétique dans le domaine du photovoltaïque, thermique solaire et l'efficacité énergétique des bâtiments.

c. Stratégie de l'efficacité énergétique

L'objectif de l'efficacité énergétique est d'assurer la réponse à un besoin avec le minimum d'énergie. Ainsi, la politique de l'efficacité énergétique se déploie pour rationaliser la demande énergétique dans le secteur du bâtiment, du transport, industriel et agricole. Par ailleurs, comme la demande en

¹³ CDER : Centre de recherche en énergies renouvelables, UDES : Unité de développement des équipements solaires, CNERIB : Centre national d'études et de recherches en bâtiment.

électricité et en gaz croît avec la croissance démographique avec un taux de près de 7% annuellement, comme nous l'avons vu *supra* (Sénit : 2007) l'Aprue et le Plan national de maîtrise de l'énergie ont prévu des actions ciblant les secteurs grand-consommateurs. Deux grands volets d'action sont ainsi proposés :

- **Politiques publiques en matière de logement sur l'efficacité énergétique**

Le PNME porte sur l'amélioration du rendement énergétique des électroménagers principalement, le réfrigérateur représentant 28% de la facture d'un ménage, selon l'Aprue (2008). Les arrêtés ministériels ont introduit l'efficacité énergétique dans le domaine de l'électroménager en proposant un étiquetage allant de A+ à D. Entre autres, l'Aprue vise l'introduction du chauffe-eau-solaire (CES) en programmant 2000 CES comme première initiative, avec une incitation financière à hauteur de 45% financée par le FNME (Fond National Pour la maîtrise de l'Energie). Encore, et dans le cadre du PNME, à travers le projet Eco-lumière il est prévu d'introduire des lampes à basse consommation (LBC), remplaçant les lampes à incandescence en vue de les retirer définitivement du marché à horizon de 2020 (Aprue : 2011). Un autre projet d'efficacité énergétique s'additionne au PNME, tout en proposant une aide aux ménages pour isoler leur maison. Le programme est lancé à partir de 2016 avec une ambition d'isoler 100 000 logements/an. Cette ambition nous semble cependant démesurée car elle requiert un engagement public et privé très conséquent, et dans le cas où ce programme pourrait réellement voir le jour, il faudra attendre plus de 50 ans pour que tout le parc immobilier actuel, comportant plus de 6 millions de logements, puisse être totalement isolé. L'objectif de ce programme porté sur le logement a comme ambition d'économiser près de 30 millions de Tep à l'horizon de 2030. Malgré l'importance de ce programme et ses ambitions bien affichées, il nous semble que peu de citoyens soient informés de l'existence de ces programmes, très bénéfiques et rentables aux ménages.

Dans le cadre du PNME il est aussi prévu de remplacer toutes les lampes à mercure des espaces publics par des lampes à sodium moins énergivores et offrant manifestement des ambiances urbaines bien meilleures. L'initiative commence à voir le jour dans plusieurs communes algériennes (Aprue : 2011, Mem : 2015). Certains maires, plus sensibilisés certes, ont même remplacé carrément les lampadaires classiques par des lampadaires fonctionnant avec de l'énergie renouvelable provenant du photovoltaïque.

Le secteur du transport représente plus de 30 % de la consommation nationale finale. Conscient de cette part importante, le PNME intervient directement sur le carburant en proposant l'introduction du GPL avec des aides financières assurées par le FNME à hauteur de 50% (Aprue : 2011, Bouamama : 2013, MEM : 2015). La finalisation de ce projet pourrait aboutir à des économies espérées de 15 millions de Tep. Le programme du PNME 2011-2015 s'est donné comme objectif d'équiper 2000 voitures et le programme 2016-2020 s'attèle à décupler l'intervention à hauteur de 20 000 voitures. Le PNME a comme objectif d'équiper près de 20% du parc automobile national (Aprue : 2011). En absence de retour d'expérience ou du bilan du premier programme, nous nous posons les questions sur la réussite d'un second programme qui décuple l'objectif. Entre autres, le gouvernement y introduit le GNC, le gaz naturel carburant qui est un carburant destiné aussi à remplacer le gasoil des voitures et moyens de transport collectif. Le GNL a été introduit par la Sonelgaz sur une flotte expérimentale de Bus dès 2013 à Alger, avec l'ambition d'étendre l'expérience à l'horizon 2020, sans introduire pour autant de chiffre permettant d'avoir un bilan en temps voulu.



Fig 1- 25 : Bus équipé en GN. Source : Aprue : 2011.

Le PNME appréhende l'efficacité énergétique du secteur du transport en se concentrant sur le carburant, alors que beaucoup de recherches lie le VMT (*Vehicules Miles Traveled*) à bien d'autres paramètres liés à la connectivité du système viaire, à l'amélioration de la disponibilité et la ponctualité des TC.

- **Promotion de l'efficacité énergétique dans le secteur industriel**

Le secteur industriel représente près de 25 % de la consommation finale de l'Algérie. Le PNME prévoit un programme d'efficacité énergétique à travers le cofinancement de l'audit et l'accompagnement technico-économique ayant comme finalité l'amélioration des procédés énergétiques. Entre autres, à travers le PNME le gouvernement permet aux entreprises engagées dans l'introduction de l'efficacité énergétique de bénéficier d'une aide financière couvrant les éventuels surcoûts. Ce programme pourra économiser près de 34 millions de Tep à l'horizon 2030.

d. Stratégie des énergies renouvelables, entre potentiel, volonté et capacité industrielle

Les énergies renouvelables constituent une partie importante du PNME, d'autant plus que l'Algérie recèle des potentialités reconnues universellement, surtout dans le domaine du solaire. L'introduction des énergies renouvelable était estimée à hauteur de 20 % horizon 2030 (Mem : 2004) avant l'adoption du PNME, qui lui, dès son adoption, prévoit l'introduction des énergies renouvelables à un taux de 5% en 2017, 20% en 2020 et 40% en 2030, dont 37% solaire et 3% d'origine éolienne. 27 % des EnR seront destinés à la consommation nationale, ce qui économisera près de 300 milliards m³ de Gaz (Senouci : 2015). Les autres filières, telles que la géothermie et la biomasse, restent au stade embryonnaire (MEM :2011, 2013, 2015 ; Aprue : 2011 ; Himri et al : 2009, 2015 ; Sahnoun et al : 2013, 2016). Le potentiel de l'Algérie en termes des énergies renouvelables est présenté comme suit:

- **Energie solaire**

L'Algérie recèle un potentiel solaire très important car 86% de sa surface est le désert de Sahara recevant plus de 2600kwh/m².y. Un rapport de L'AIE spécifie qu'un pays comme l'Algérie pourrait produire plus de la puissance de 72 stations à charbon, pouvant couvrir à la fois la demande énergétique de tous les pays du Maghreb, soit près de 100 millions habitants (Stambouli : 2011). Selon le député UNEP-WCMC Mr Kaveh Zahedi, le Sahara algérien pourrait subvenir à la demande du

monde entier en termes d'électricité¹⁴. Et la carte ci-dessous montre les sites à fort potentiel d'énergie solaire.

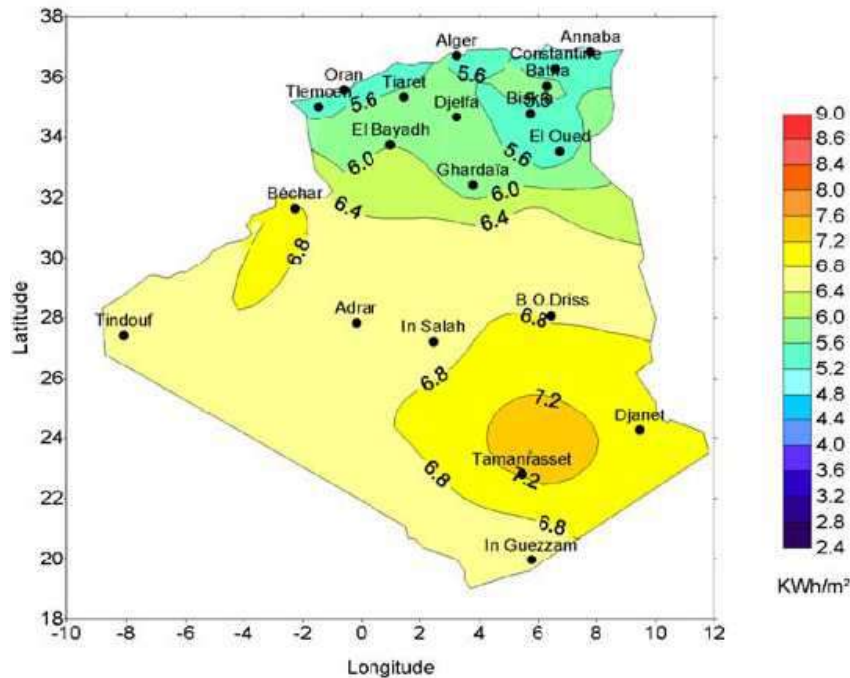


Fig 1- 26 : Potentiel solaire en Algérie. Source : CDER. <http://www.cder.dz>.

Tableau 1- 2 : le potentiel solaire en Algérie. Source : Stambouli : 2011, CDER Algeria. <http://www.cder.dz>.

zone	cotière	Haut plateau	sahara
Surface (%)	4	10	86
Heure solaire par an	2650	3000	3500
Énergie recue/m².an	1700	1900	2650

Le tableau ci-dessus présente le potentiel de l'Algérie en termes d'énergie solaire ventilé par zone géographique. Le PNME prévoit d'exploiter cette énergie solaire principalement par les centrales solaires à concentration thermique à hauteur de 70% et 10 % de photovoltaïque (Revue Mem : 2004). L'usage du solaire en Algérie remonte à la période coloniale avec le premier four solaire en 1954, pour la production du céramique. Actuellement, la production de l'énergie solaire est principalement investie par le MEM, la Sonelgaz et quelques entreprises privées provenant du FCE¹⁵ pour la plupart. Le partenariat public-privé a été couronné par la création de la société NEAL, 45% Sonelgaz, 45% Etat et 10 % privé (SIM), entreprise sise à Rouiba.

- **Énergie photovoltaïque**

Cette source constitue la meilleure réponse énergétique pour les sites isolés. L'Algérie compte installer une puissance de 800 Mwc¹⁶ horizon 2021, puis une installation de 200 Mwc annuellement jusqu'à 2030 (Mem : 2015).

¹⁴ In colloque international, INCOSOLE 2015, <https://www.ansole.org/>

¹⁵ FCE : Forum des Chefs d'Entreprises

¹⁶ Mwc : puissance maximale d'un dispositif, Mega Watt-Crête (*Watt-peak*) (source : ADEME)

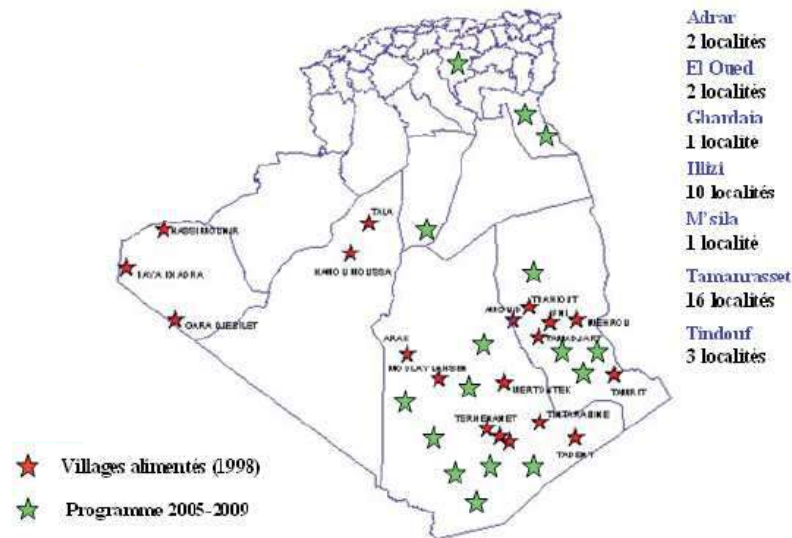


Fig 1- 27 : Villages équipés de panneaux solaires photovoltaïques. Source : MEM : 2013.

Énergie solaire thermique

Cette technique consiste à installer les centrales qui tendent à exploiter les radiations solaires dans sa dimension thermique en concentrant le rayonnement sur un collecteur, qui via un échangeur orientera la chaleur vers un fluide qui sera soit vaporisé directement, soit transportant la chaleur à un générateur de vapeur. De 2016-2020, l'Algérie compte installer une puissance de 1200 Mw puis 500 Mw annuellement jusqu'à 2023, puis 600 Mw annuellement jusqu'à 2030 (Mem : 2013, 2015, Aprue : 2011).

Énergie éolienne

L'Algérie a un potentiel en éolien remarquable sur tout le territoire national où 50% du territoire a une vitesse du vent dépassant les 5m/s. La carte ci-dessous démontre ce potentiel. L'Algérie compte installer une puissance de 30 Mw entre 2011 et 2015, puis 1700 Mw entre 2016 et 2030. En tout, l'éolien devrait représenter 3 % de l'énergie nationale (MEM : 2015, stambouli : 2011).

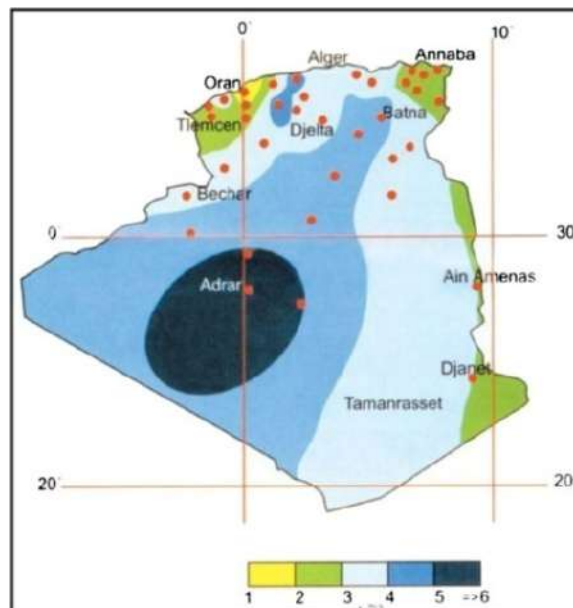


Fig 1- 28 : Le potentiel Eolien en Algérie. Source : Boukelia et Mecibah (2012)

Energie hydraulique

L'énergie hydraulique est principalement utilisée pour la production de l'électricité. L'Algérie reçoit près de 65 milliards m³ annuellement de l'eau des pluies, mais son usage est limité par le fait que la précipitation est limitée à des périodes et sur des zones avec une concentration différente allant du Nord en décroissance vers le Sud, par l'évaporation rapide des pluies, l'évacuation rapide vers la mer et peu de barrage pour la collecte. L'Algérie récupère 25 milliard m³ d'eau dont 2/3 sont des ressources de surface¹⁷. Les 50 barrages opérationnels (et 53 autres sites de barrage en projet) produisent près de 5 % d'électricité. En 2003 la production de l'hydroélectricité est évalué à près de 265 GWH représentant à peine 1 % de la production nationale (Mem : 2005).

Énergie géothermique

Le potentiel de l'Algérie en géothermie est considérable et arrêté à près de 200 sources (Fekraoui et Abouriche : 1999), ayant un potentiel estimé à près de 14 MWth (Idem). Les sources sont concentrées principalement dans le nord Algérien, dont 1/3 a une température dépassant les 45°C et il existe, comme c'est le cas à Biskra, des sources ayant une température dépassant les 118°C (Mem : 2005, site web). Le gradient géothermique « normal » est de 3°/100m, et certaines zones en présentent un gradient dépassant 3 fois plus le gradient normal, dont la région de Mostaganem à l'Ouest, la région de Ain Boussif - Sidi Aissa au centre et enfin la région de Guelma - Annaba - Djebel Onk à l'Est (Idem) (Voir carte préliminaire de l'atlas Algérien ci-dessous).



Fig. 1: Carte de température des sources thermales

Fig 1- 29 : Carte préliminaire de l'atlas Algérien. Source : Fekraoui et Abouriche : 1999.

Energie de la biomasse

L'Algérie recèle un potentiel en biomasse considérable provenant : (i) des forêts, estimé à plus de 37 millions de TEP dont 10 % est considéré comme potentiel récupérable ; (ii) des déchets urbains et agricoles qui sont estimés à près de 5 millions de tonnes annuellement non recyclés et qui peuvent produire près de 1.3 million de Tep (Mem : 2005, le site). Une étude de faisabilité portant sur la décharge de Oued-Smar a démontré un potentiel d'exploitation pouvant produire une puissance de 2 à 6 Mw (Louai : 2009).

Energie nucléaire

Selon le Ministère de l'énergie et des Mines, dans le cadre de la coopération internationale et celui de la mixité énergétique, l'Algérie négocie avec la FANR l'introduction du nucléaire dans le Sud à des fins civiles et entre autre la production de l'électricité à partir de 2025. Le potentiel de réserve de l'Algérie en uranium est estimé à près de 29 000 tonnes, de quoi faire fonctionner deux centrales nucléaires pour une durée de 60 ans. Pour s'approprier la technologie du nucléaire, l'Algérie a érigé

¹⁷ MEM 2005: www.mem-algeria.org/fr/enr/pot.htm#hydrélectricité.

l'Institut national de la formation nucléaire (sis à Draria à Alger en 2011), et en 2014, l'Algérie a signé une coopération avec la Russie (Mem : site web). Cette option véhicule des inquiétudes liées à l'acceptabilité sociale, à la gestion des déchets et à des risques majeurs, même si les mesures de sécurisation post-Fukushima sont respectés (Senouci Benabbou: 2015).

Option du gaz de schiste

Cette option a suscité une agitation sociale très importante au moment où le gouvernement a essayé de faire des expérimentations à In Salah. L'acceptabilité sociale de cette technologie en Algérie est très négative. En effet, cette option, peu maîtrisée à travers le monde, a été abandonnée ou suspendue jusqu'à ce que la technologie soit parfaitement maîtrisée. Les professeurs Chitour (2011) et Mebtoul ont dressé une lecture assez complète d'une exploitation possible du gaz de schiste sous l'angle de technologie, du coût d'extraction et de position dans le marché. Selon les chercheurs, la technologie n'est pas maîtrisée mondialement, ce qui augmente le risque d'une pollution potentielle due à l'usage des produits chimique estimés à près de 600 produits à fort potentiel cancérigène pouvant affecter les nappes phréatiques, source principale de l'eau potable pour une partie importante du territoire. Ajoutant à cela, la forte demande en eau évaluée à 14 000m³ par puits (Chitour : 2011) dans un pays vivant le stress hydrique n'est pas, selon eux, acceptable. Enfin, même dans le cas d'une maîtrise de la technologie, le gisement en gaz de schiste algérien se trouvant à des profondeurs importantes (2000m) aura un coût d'extraction plus élevé que celui observé aux USA ou en Pologne. Aussi, les réserves en gaz du schiste en Algérie sont estimées par l'AIE à près de 6500¹⁸ milliard de m³ soit le quart des réserves des USA et un peu plus que celles estimées pour la Pologne (5000 milliards).¹⁹En plus de toutes ces conditions, selon Mebtoul (2013) un forage de gaz de schiste perd 80% de sa capacité au bout de 5 ans. Cette technologie est donc suspendue provisoirement, car décriée partout dans le monde à cause des risques qui peuvent en découler.

e. Stratégie basée sur la coopération nationale et internationale

La coopération internationale revêt une importance manifeste pour l'Algérie en vue de gagner en expérience de pilotage ainsi que les financements provenant de la Banque Mondiale et l'Union européenne. Ainsi, l'Aprue fait partie de MEDENER²⁰ qui est une association active dans 6 registres d'action : les projets, les formations, la communication, l'observatoire, les bonnes pratiques et le partenariat. Dans la même lignée, l'Aprue a signé des protocoles qui sont cités ci-dessous à titre indicatif et non exhaustif (Aprue : le web) :

- Coopération avec l'ADEME²¹ 2015-2017 qui a pour mission (Aprue : web2013) : (i) développement de programme de formation et d'animation ; (ii) renforcement de l'activité de l'observatoire de l'efficacité énergétique ; (iii) formation des auditeurs énergétiques dans le bâtiment ; (iv) et la participation des experts de l'ADEME aux événements organisés par l'APRUE.
- Coopération entre l'APRUE et le CCR, centre commun de recherche de l'institut de recherche de l'UE sur les questions d'énergie. L'APRUE a été désignée comme pilote du

¹⁸ Le MEM estime les réserves entre 12 et 17000 milliards m3 (mebtoul : 2013).

¹⁹ Sachant que 35% des recettes de Sonatrach viennent des USA (Mebtoul : 2013), la question d'évacuation du gaz de schiste se trouve dès lors bouleversée, surtout si l'on additionne la part de la Chine et de l'Argentine. Le prix de vente sera certainement conditionné par les grands producteurs qui eux, en cas de maîtrise de la technologie, produiront avec un coût minimum.

²⁰ Association méditerranéenne des agences nationales de la maîtrise de l'énergie

²¹ Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie ADEME

projet CES-MED²² financé par l'Instrument Européen de Voisinage et de Partenariat (IEVP). Cette coopération a pour objectif d'initier les communes pour concevoir un « Plan d'action en faveur de l'énergie durable » (PAED) contenant le IRE « inventaire de référence des émissions » ainsi que les mécanismes de financement nationaux et internationaux des PAED. Trois communes pilotes ont été choisies pour le lancement de ce projet depuis 2013, Batna, Boumerdès et Sidi Bel Abbès.

- Le projet NAMA²³ (2014) est un des outils de la convention cadre des Nations unies de 1992 et financé par la communauté internationale, et a comme objectif la mise en place de Mesures d'Atténuation Appropriées au niveau National dans le secteur bâtiment résidentiel. En Algérie, la NAMA s'est traduite par le projet de réalisation de 600 logements HPE. Comparés à d'autres pays, comme le Mexique qui a réalisé des milliers de logements HPE, les 600 logements pilotés par le CNERIB et les OPGI restent une action timide mais à fort potentiel de développement.
- Projet de coopération avec le PNUE²⁴ entrant dans le cadre de « l'Initiative Mondiale d'Economie de Carburant » lancée en 2009 et ayant pour objectif de réduire de 50% la consommation de carburant de l'ensemble du parc mondial de véhicules d'ici 2050. L'Algérie s'est engagée dans ce projet dans la sensibilisation et la généralisation de l'utilisation de l'essence sans plomb et le GPL, GN dans les voitures et moyens de transport en commun.
- Le projet du guide pour la construction Eco-Energétique en Algérie est publié depuis 2014, édité et distribué gratuitement par l'APRUE. Ce document est le fruit de la coopération avec le groupe GIZ²⁵ sous la direction de S.BARADIY. Le document est destiné aux professionnels du bâtiment et comprend des recommandations pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments.
- La participation de l'Aprue avec la Ligue arabe dans le concours de meilleurs projets introduisant l'efficacité énergétique le 21 mai 2015 dans le cadre de la journée arabe de l'efficacité énergétique.
- Le projet MED-ENEC est un projet visant l'efficacité énergétique dans 10 pays de la Méditerranée comme Algérie, Égypte, Jordanie, Liban, Maroc, Palestine, Syrie, Tunisie et la Turquie. Ce projet de 4 millions d'euros, financé par l'UE, était d'une durée de 3 ans (2006 à 2008) et visait la sensibilisation destinée aux institutions publiques et privées sous l'appui du groupe allemand GTZ. Dans le cadre du même projet, une maison rurale prototype a été construite pour tester les différents dispositifs améliorant l'efficacité énergétique dans la zone de Souidania, l'étude a été réalisée par le CDER et le CNERIB (Chenak : 2009)²⁶. De nombreux projets de recherche ont suivi cette initiative, en s'appuyant sur le même projet, voir (Belkacem et al : 2015, Ali-Toudert et Weidhaus : 2017).

²²<http://www.ces-med.eu/fr>

²³ *Nationally Appropriate Mitigation Action*

²⁴ Programme des Nations Unies pour l'Environnement

²⁵ Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, qui se traduit littéralement comme la société pour la coopération internationale.

²⁶ Abdelkrim Chenak, *Efficacité énergétique dans le bâtiment Projet pilote Med-Enec*, lettre APRUE N°14 / Avril 2009

f. Stratégie de développement des capacités industrielles

Pour permettre une meilleure application du PNME, l'Algérie envisage d'étoffer son tissu industriel en encourageant l'industrialisation locale avec les facilités fiscales et douanières pour que les lampes à basse consommation, les CES, l'électroménager à haute efficacité énergétique, les matériaux d'isolation soient développés (Aprue : 2015). Pour ce faire, l'Algérie prévoit une intégration industrielle en deux temps, d'un taux de 60% pour le solaire photovoltaïque, et de 50% pour l'éolien et le solaire thermique pour la période 2014-2020. Alors que pour la période 2021-2030, le gouvernement envisage une intégration de l'industrie nationale à un taux dépassant les 80% (MEM : 2011). Le gouvernement encourage entre autres le partenariat privé-public, à l'image de l'entreprise NEAL²⁷, (Stambouli et al: 2011). L'environnement est caractérisé par une adaptation institutionnelle posée principalement par la loi 99-09, suivie spécifiquement par la création de la CREG, Commission de Régulation de l'Électricité et du Gaz en 2002 via la loi 02-01 relative à l'électricité et à la distribution publique du gaz par canalisation, suivie aussi par la promulgation de la loi 04-09 relative à la promotion des énergies renouvelables qui assure des avantages fiscaux, un financement des projets par le truchement du FNME et octroie des prêts non rémunérés et des garanties pour les emprunts auprès des banques pour tout investissement porteur d'efficacité énergétique (Aprue : 2011, Ali-Toudert : 2017, MEM : 2011). L'énergie nécessaire pour le fonctionnement de l'industrie est d'ores et déjà encouragé par une tarification datant des années 1960 et qui avait à son tour l'objectif d'encourager l'industrialisation du pays (Sénit : 2007).

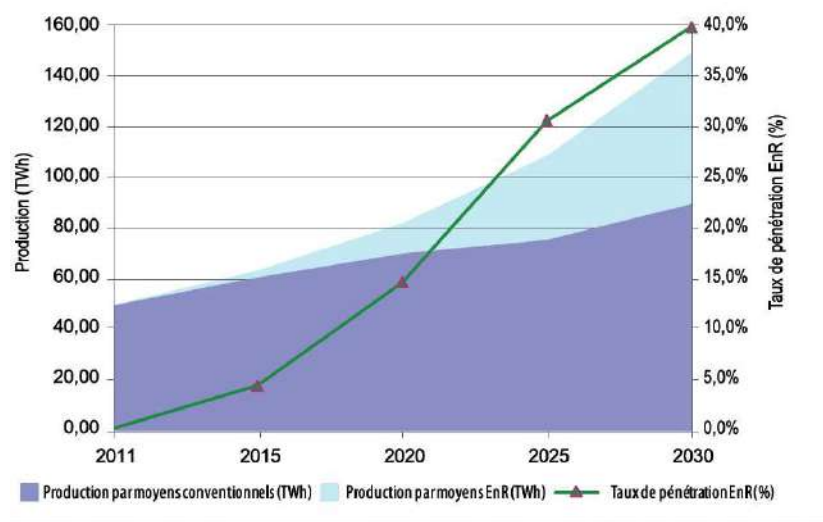


Figure 1: pénétration des EnR dans la production nationale en TWh

Fig 1- 30 : Intégration des énergies renouvelables à l'horizon 2030. Source : Aprue 2011.

g. Stratégie de tarification

Dans un premier temps, la philosophie de tarification de l'énergie en Algérie a un fondement socialiste, où le kWh consommé n'est pas rémunéré à la valeur du marché. Le gouvernement prend en charge la marge du marché en y mettant de 1.5 à 2 milliards de dollars américains annuellement (Mehtoul : 2013) et les zones climatiques semi-arides des Hauts Plateaux et aride du Grand Sud bénéficient respectivement d'un soutien de l'ordre de 10%²⁸ et 50%²⁹. La consommation de l'énergie

²⁷ Groupe New Energy Algeria

²⁸ Conformément à l'instruction interministérielle n°02 du 07 août 2001, relative à la réduction de la facturation de l'électricité dans les wilayas du sud.

²⁹ Conformément aux dispositions de l'article 49 de la loi n° 11-11 du 18 juillet 2011 portant loi de finances complémentaire pour 2011.

par ménage ventilée par le revenu (voir figure 1-31) nous donne une orientation première selon laquelle la part d'énergie par ménage augmente avec le revenu moyen par ménage, mais si l'on observe le cas de l'Algérie, de Tunisie et du Maroc qui ont presque le même revenu moyen par ménage, on remarque une dispersion non négligeable entre les trois pays. Ceci peut être expliqué par la politique de tarification, car, selon la figure 32 ventilant la consommation de l'électricité en fonction du prix du kWh, la consommation de l'électricité par ménage en Algérie est plus importante que celle observée en Tunisie et au Maroc à cause (entre autre) de la faible tarification du kWh en Algérie.

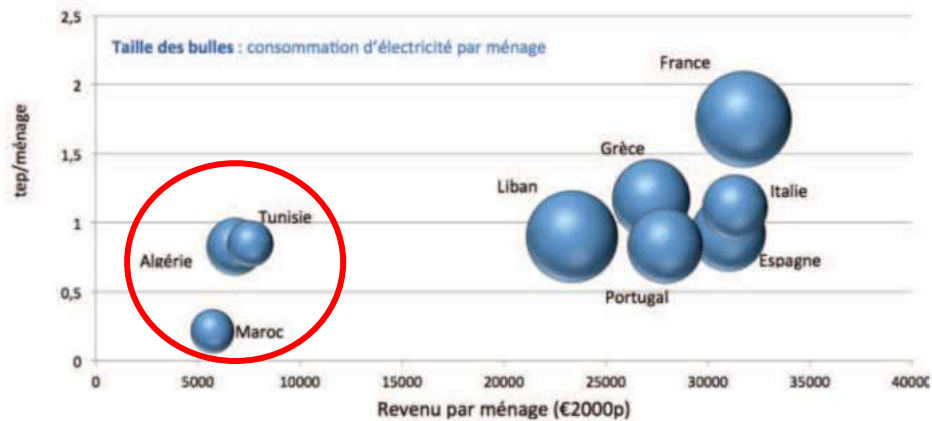


Fig 1- 31 : Consommation d'énergie par ménage en fonction du revenu. Source : MED-ENER (2014)

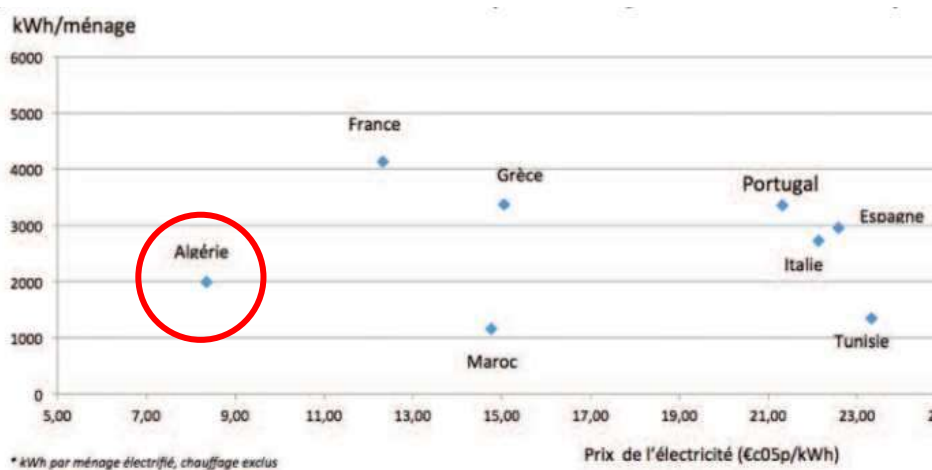


Fig 1- 32 : Consommation de l'électricité en fonction du prix du kWh.

Dans le cadre de la rationalisation de l'utilisation de l'énergie, l'Algérie a procédé à une tarification flexible de l'électricité selon le choix des clients (CREG : 2015)³⁰ : (i) tarification progressive dépendant du seuil de consommation et variant de 1.77 DA/kWh à 5.47 DA si l'on dépasse le seuil de 1000kWh ; (ii) double tarifs dépendant de l'occupation de l'espace concerné. Si l'espace consomme davantage d'énergie pendant la nuit, il serait préférable de choisir la tarification 53 M ou le prix du kWh est estimé à 1.20 DA la nuit et 4.86 DA pendant le jour. Et si l'espace consomme plus d'énergie le jour de 21h à 17h, il serait préférable de choisir la tarification 52 M, où le prix du kWh est 1.78 DA du 21h à 17h et 8.11 DA de 17h à 21h ; (iii) le Triple tarif est préférable dans le cas où l'espace consomme plus d'énergie la nuit, car le kWh vaut 1.2 Da de 22h 30 à 6h, et 2.16 Da/kWh de 6 à 17H

³⁰ Conformément à la décision D/22-15/CD du 29/12/2015, applicable à partir du 1 janvier 2016.

et 21 à 22h. Le « paroxysme tarifaire » est fixé pour la période de pointe entre 17h et 21h qui, lui, reste stable dans les trois cas de tarification (Voir figure 1-33).

TARIF DE L'ENERGIE POUR LES CLIENTS MENAGES PAR kWh:

Tarif 51 M	Pointe	Pleines	Nuit
	17h à 21h 811,47 cDA	6h à 17h et 21h à 22h 30 216,45 cDA	22h 30 à 6h 120,50 cDA
Tarif 52 M	Pointe	Hors Pointe	
	17h à 21h 811,47 cDA	21h à 17h 178,07 cDA	
Tarif 53 M	Nuit	Jour	
	22h30 à 6h 120,50 cDA	6h à 22h30 486,98 cDA	
Tarif 54 M	Pour une consommation par trimestre		
	Tranche 1 : de 0 à 125 kWh : 177,87 cDA		
	Tranche 2 : supérieure à 125 jusqu'à 250 kWh : 417,89 cDA		
	Tranche 3 : supérieure à 250 jusqu'à 1000 kWh : 481,20 cDA		
	Tranche 4 : supérieure à 1000 kWh : 547,96 cDA		

TARIF DE L'ENERGIE FACTUREE POUR LES CLIENTS MENAGES PAR thermie:

Tarif 23 M Tarif progressif	Pour une consommation par trimestre
	Tranche 1 : de 0 à 1125 thermies : 16,82 cDA
	Tranche 2 : supérieure à 1125 jusqu'à 2500 thermies : 32,45 cDA
	Tranche 3 : supérieure à 2500 jusqu'à 7500 thermies : 40,25 cDA
	Tranche 4 : supérieure à 7500 thermies : 45,99 cDA
Redevance fixe 28,50 DA/mois	

TARIF DE L'ENERGIE FACTUREE POUR LES CLIENTS NON MENAGES :

Tarif 23 NM Tarif progressif	Pour une consommation par trimestre
	Tranche 1 : de 0 à 2500 thermies : 32,45 cDA
	Tranche 2 : supérieure à 2500 jusqu'à 7500 thermies : 40,25 cDA
	Tranche 3 : supérieure à 7500 thermies : 45,99 cDA
	Redevance fixe 28,50 DA/mois

Fig 1- 33 : Mode de tarification de l'énergie applicable à partir de 2016. A droite, l'électricité, à gauche le gaz.

Source (CREG : 2015).

La tarification du gaz est progressive proposée en 4 tranches pour les ménages et 3 pour les clients non ménage. Le prix de 1 thermie (1.163 kwh) varie de 0.16 Da à 0.46 Da/thermie, voir figure ci-dessous. Si l'on converti la thermie en kwh, le seuil de la première tranche sera estimé à plus de 1300 kwh alors que le seuil de la quatrième tranche pour l'électricité est estimé à 1000 kwh. Ceci démontre la très faible facturation du gaz comparé à celle de l'électricité. Cette grille de tarification reste, malgré l'augmentation, peu élevée, peu ressenti par les ménages et surtout loin de sa valeur réelle du marché et peu médiatisée et reste méconnaissable par la population. Cette nouvelle tarification a comme objectif de rationaliser l'usage de l'énergie selon le besoin et surtout éviter les heures de la consommation de pointe concernant l'électricité estimée entre 17 et 21h et touche principalement les grands consommateurs.

1.4.2. Barrières à la mise en œuvre du PNME

Sénit (2007), El Andaloussi et al (2011) et Boumama (2013) ont exploré les obstacles potentiels expliquant le retard quant à l'application de la politique de maîtrise de l'énergie. Une explication d'ordre politique, économique, informationnelle et technique en ressort.

Barrière politique, qui se traduit principalement par : (i) la non décentralisation des compétences, l'efficacité énergétique en Algérie est toujours portée en mode *top-down* plutôt que *bottom-up* car les communes n'ont aucune compétence portant sur ce point, si ce n'est l'application des lampes à basse consommation et la gestion des déchets, ce qui fait que l'appropriation et l'application de la politique de maîtrise de l'énergie est asymétrique (Boukarta : 2011) ; (ii) le temps long dans l'élaboration des décrets et arrêtés, expliquant le mode d'application de la loi 99-09 qui prévoit le contrôle et des sanctions des bâtiments en termes de conformité à la réglementation thermique ; (iii) près de 40% des logements en Algérie sont autoconstruits (Sénit : 2007) et échappent à toute initiative de contrôle au moment de la réalisation ; (iv) la priorité actuellement du gouvernement est de répondre à la pénurie de logements dont la rapidité d'exécution à moindre coût sont les maîtres mots (Bouamama : 2013, Boukarta et Berezowska-Azzag : 2017-b). En plus, le non engagement de

l'élite, notamment de l'Ordre des architectes, dans la réflexion pouvant aider l'introduction de l'efficacité énergétique dans le bâtiment est également en cause.

Barrière technique et technologique, qui s'explique principalement par le manque de savoir-faire et la non-maitrise de technologie par les professionnels du bâtiment, que ce soit pour les bureaux d'études ou les entreprises de réalisation. Ceci est d'autant renforcé par la non-application du contrôle suite à l'absence d'un décret ou arrêté d'application.

Barrière d'ordre informationnel, elle se traduit par la carence en termes d'informations portées sur les solutions techniques « traditionnelles » (régionalisme critique) et technologiques, ce qui rend la diffusion des bonnes pratiques très limitée. Ceci est dû principalement à l'absence d'organe intermédiaire (mouvement associatif et autre). Encore, malgré le support financier proposé par le gouvernement porté sur l'introduction du CES et le GPL pour les voitures, les promoteurs immobiliers et les citoyens restent peu ou prou informés sur ces opportunités, peu connues par le grand public et par les professionnels.

Barrières économiques, où la mercantilisation de l'efficacité énergétique semble être le garant d'application du PNME. Si l'on s'appuie sur les conditions d'éclosion du marché de l'efficacité énergétique, en mettant l'accent sur le temps d'amortissement des investissements liés à la maîtrise de l'énergie (comme le remplacement des fenêtres par d'autres plus performantes), il faudra attendre 23³¹ ans et si l'on introduit l'efficacité énergétique pour tout un logement, le temps de retour est estimé à près de 25 ans pour amortir le coût de l'investissement (voir figure ci-dessous, El Andaloussi et al : 2009). Ce constat se trouve renforcé, si l'on compare le cas Algérien au cas turc (voir figure ci-dessous) ou le temps de retour est estimé à près de 3 ans contre 25 ans pour l'Algérie. Ceci rend l'investissement des ménages très profitable pour les Turcs, mais insignifiant pour les Algériens.

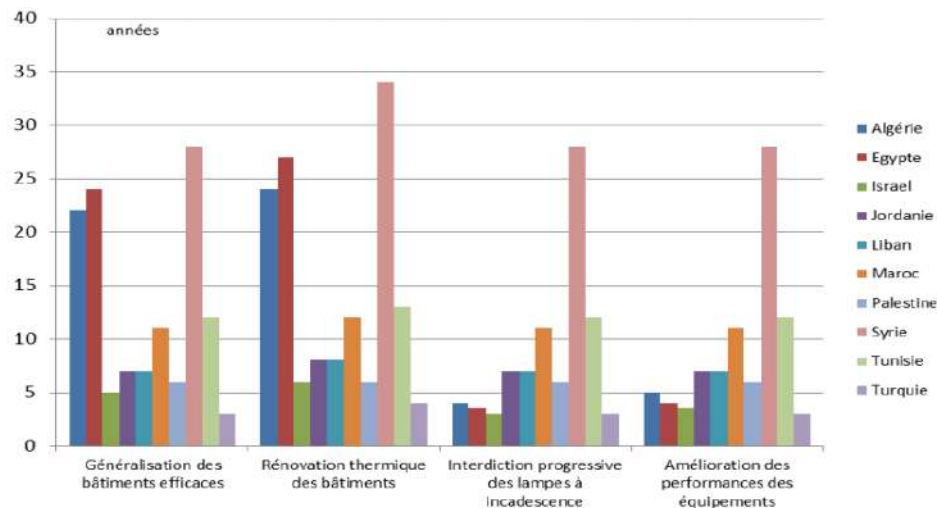


Fig 1- 34 : Temps de retour pour le consommateur par pays. (El Andaloussi et al : 2009)

On peut faire la même conclusion en analysant la rentabilité du CES³², pour qui le temps de retour reste long et estimé à près de 9 ans si l'énergie est l'électricité, et dépasse les 30 ans si le CES fonctionne en GPL (El Andaloussi et al : 2011) (voir figure ci-dessous). Le consommateur final ne peut en économiser qu'à peine 1800 Da/an, soit moins de 200Da/mois pour les LBC³³ (Aprue : 2008), ce

³¹ Etude réalisée par auteur pour le Groupe MFG, le Cas d'Alger, présentée lors de BATIMATEC, mai 2016.

³² CES : Chauffe-eau solaire.

³³ LBC : Lampe à basse consommation.

qui rend encore une autre fois la substitution « verte » peu profitable. Ce temps long de retour d'investissement est bien entendu expliqué par le faible tarif de l'énergie en Algérie. Par ailleurs, certaines firmes algériennes ont comme principal client l'Europe, avec plus de 70% de la production, principalement du double vitrage destinée à l'exportation, alors que le marché national n'en consomme que 30 %, et c'est principalement du simple vitrage qui domine.

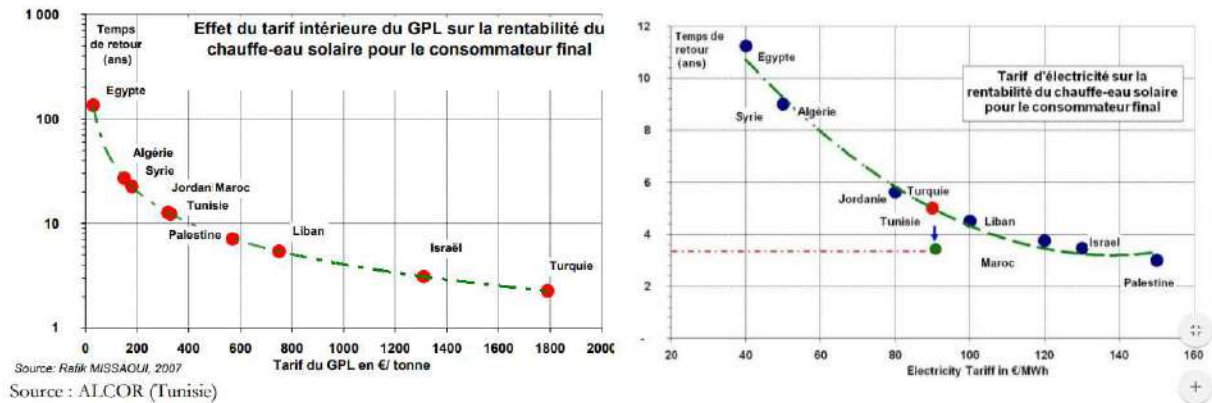


Fig 1- 35 : temps de retour du chauffe-eau-solaire pour le consommateur final. Source : (Elandaloussi et al : 2011 : p 52).

Sur la base des développements cités *supra*, il nous est possible de concevoir les barrières quant à la mise en œuvre effective du PNME comme un cercle vicieux, où l'obstacle premier serait le temps long de retour des investissements ce qui rend la mercantilisation de ce secteur difficile pour les investisseurs et peu profitable et peu accessible aux ménages. Malgré l'augmentation des tarifs depuis 2016, l'énergie reste subventionnée et toute autre augmentation n'est envisageable car elle pourrait déstabiliser « politiquement » le pays. Ce risque est à l'origine d'une très forte inertie quant à l'application de la politique énergétique. Sans intérêt direct pour le consommateur final vu la faible rentabilité, le marché devient peu propice aux investisseurs et aux consommateurs (Voir figure ci-dessous).

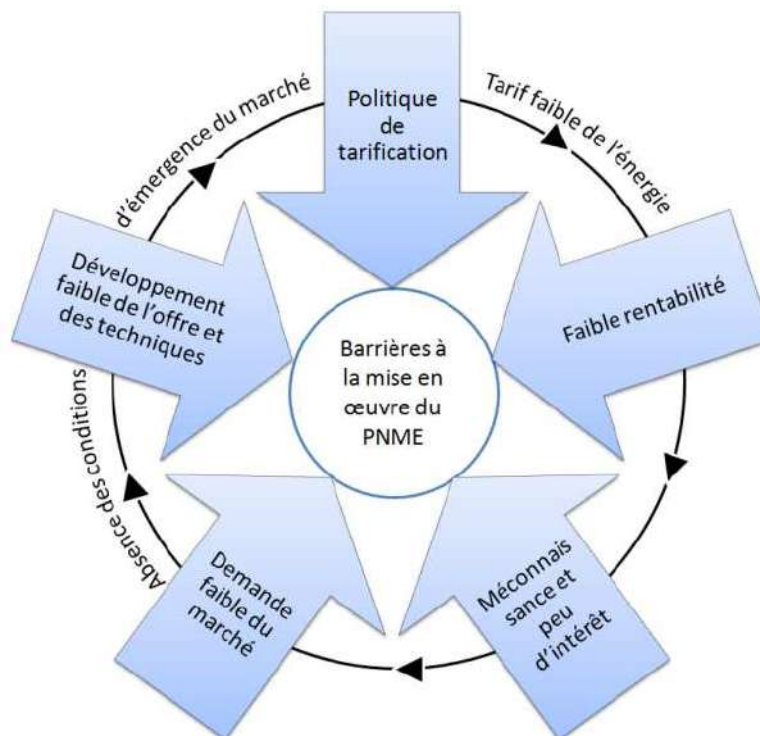


Fig 1- 36 : Obstacles de l'application de la politique énergétique. Source : S. Boukarta

Enfin, la politique énergétique de l'Algérie semble être centrée sur « l'entretien de l'export » (Sénit : 2007) et comme tous les pays en voie de développement, l'Algérie s'inspire de la réglementation thermique souvent française dont le contexte est différent. Le Guide développé en partenariat par le groupe GlZ propose pour les parois extérieures un coefficient de transmission U compris entre 0.25 et 0.5 w/m².K, ces valeurs sont actuellement recommandées dans des pays développés d'ores et déjà industriels, alors que l'Algérie n'en est pas encore. Les pays européens sont passés par le survitrage³⁴ avant de passer au double et triple vitrage industriel. Le passage vers l'efficacité énergétique ne peut être que graduel, la Turquie reconnaît comme classe A tout bâtiment ayant une demande énergétique inférieure ou égale à 75 Kwh/m².an, alors que pour les pays de l'UE la classe A commence à partir de 50 Kwh/m².an. Il est à noter aussi que le coût nécessaire pour faire passer un bâtiment de 75 à 50 kwh/m².an est plus important que le coût d'une réhabilitation énergétique pouvant améliorer la demande énergétique d'un bâtiment consommant 150 pour n'en demander que 100 voire 90kwh/m².an après réhabilitation.

D'autres facteurs peuvent aussi être énumérés, comme par exemple :

Impact socio-économico-écologique des énergies renouvelables

Le lien entre le produit intérieur brut, le capital réel et les énergies renouvelables et non renouvelables a fait l'objet d'une étude le long de la période 1980-2012 (Amri : 2017). L'étude indique que seul le type d'énergie non renouvelable et le capital peuvent contribuer à accroître la croissance économique, alors que les énergies renouvelables ne présentent aucun effet significatif. Ceci pourrait être expliqué par le faible taux d'intégration entre 1980 et 2012. Par contre, l'examen des tests de causalité a démontré un lien unidirectionnel allant de l'énergie renouvelable à la croissance économique, au capital long terme et à l'énergie non renouvelable à court terme. La conclusion de cette recherche étaye l'orientation de la politique vers un mix énergétique, avec une intégration progressive des différentes EnR.

Etapas de la transition énergétique, le PNME

La politique nationale de maîtrise de l'énergie est conçue avec un phasage permettant l'intégration graduelle de l'efficacité énergétique et des EnR en fonction de la disponibilité financière qui provient principalement du FNME et des financements internationaux comme la Banque Mondiale. Le PNME comprend deux volets essentiels, un programme d'efficacité énergétique EE, et un programme des énergies renouvelable EnR. Le PNME a comme mission : (i) La définition du cadre et des perspectives de la maîtrise de l'énergie ; (ii) L'évaluation des potentiels et la définition des objectifs à atteindre en matière de maîtrise de l'énergie ; (iii) Les actions à réaliser dans le cadre de ces objectifs à court, moyen et long termes. Un premier PNME couvrait la période 2007-2011, cadrant les secteurs grand consommateurs, à savoir, le bâtiment (résidentiel, service et collectivités locales), transport, industrie et l'agriculture (Aprue : 2015). Le détail chiffré des actions n'est cependant disponible que pour le premier plan national (2007-2010), le PNME 2010-2014 n'est disponible que sous forme de renforcement d'action déjà entreprises lors du premier plan. En d'autres termes, certains programmes ont connu un retard dans l'application. Le programme Eco-bat prévu pour la période 2006-2010 (voir annexe A) n'a débuté qu'au juin 2011 (CDER : 2012 web), alors que le programme

³⁴ Technique utilisée en Europe pour améliorer les performances énergétiques d'une fenêtre en ajoutant une vitre à la fenêtre existante. Elle est abandonnée avec l'amélioration de la réglementation thermique.

initial soulignait la réalisation de 150 logements HPE à partir de 2008. Ce décalage dans l'application du PNME explique la non publication d'un programme chiffré des actions et tout bilan devient difficile à élaborer, à cause des écarts potentiels entre politique affichée et réalisations observée sur terrain.

L'application du programme des énergies renouvelables est lié directement au potentiel industriel du pays qui doit connaître un développement à hauteur de près de 80% horizon 2030. L'efficacité énergétique est introduite sous forme de programme triennal allant de 2011-2013, 2014-2016, puis 2016-2030 (Aprue : web 2015, Boukheddimi : 2014), ayant comme objectif l'introduction graduelle des mêmes actions, à savoir, (i) secteur du bâtiment : le renforcement de l'isolation thermique avec financement à hauteur de 80%, distribution des LBC ainsi que les CES individuel et collectif ; (ii) secteur industriel : audit énergétique et aide pour tout investissement porteur d'efficacité énergétique. (iii) le secteur du transport : qui tend à distribuer davantage de kits du GPL et GNC pour les voitures particulières, utilitaire et même les bus. L'efficacité énergétique dans le secteur agricole est introduite par le truchement de l'irrigation fonctionnant à l'énergie renouvelable.

Enfin, il est à noter que l'efficacité énergétique se base principalement sur la réussite de l'intégration des énergies renouvelables, donc sur le développement des capacités industrielles (voir figure ci-dessous). L'aspect « conception des formes urbaines » considérées selon son aspect « efficacité ou efficacité énergétique » n'est pas envisagé dans la politique énergétique du pays, alors que partout ailleurs dans le monde, la densité, la connectivité des formes urbaines, la compacité et bien d'autres aspects liés à la conception sont bel et bien introduits dans la politique énergétique des villes. Nous y reviendrons dans notre état de l'art développé dans la partie 2 de notre thèse.

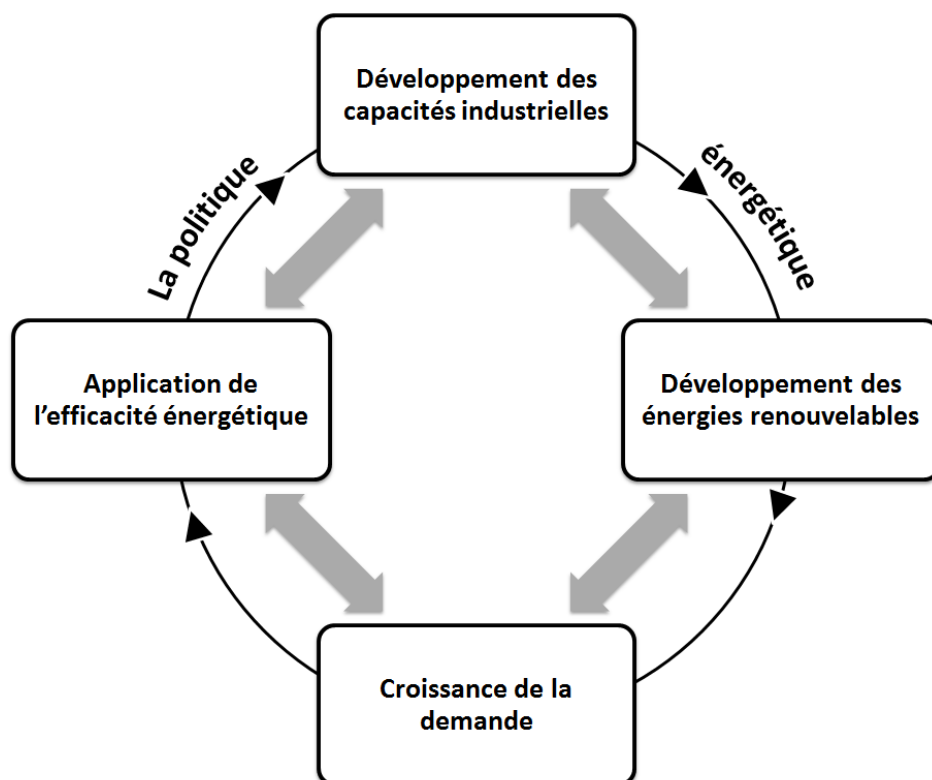


Fig 1- 37: Engrenage des étapes pour la réussite de la politique énergétique. Source : S. Boukarta

1.4.3. Analyse AFOM de la politique énergétique sous la grille d'analyse thématique

En guise de synthèse de la présente section, nous avons procédé à une analyse AFOM afin d'identifier les effets endogènes (force et faiblesse) et exogènes (opportunités et risques) de la politique énergétique en Algérie. L'analyse est conduite sur la base de la grille : (i) savoir-faire et avancée technologique (S&T), (ii) marché et industrie (M&I), (iii) politique et mesures (P&M).

Tableau 1- 3 : Analyse AFOM de la politique énergétique en Algérie.

Endogène	
Forces	faiblesses
S & T	- Développement des capacités technologiques. - Emergence de nouveaux centres de recherches spécialisés, et de nouvelles spécialités dans les universités. - Développement des coopérations avec les pays développés - Prolifération des Prototypes et projets pilotes.
	- Développement faible du réseau et faible coordination entre les différentes institutions actives. - Coût élevé de la technologie. - Peu de recyclage des professionnels du bâtiment et de l'urbanisme dans le domaine de l'énergétique. - La non mise à jour du code thermique malgré les avancés technologiques. - Rareté des études portée sur le régionalisme critique (traditionnel)
M & I	- Développement des capacités industrielles. - Développement du marché des énergies renouvelables. - Développement du partenariat public-privé.
	- Développement lent de l'industrie de l'énergie renouvelable à cause du coût de production comparé au cout de vente. - La tarification actuelle ne permet pas un engouement de l'industrie. - Temps long de retour d'investissement dans le domaine de l'énergétique pour les ménages affaiblit la demande et ipso facto le développement de l'industrie et du marché. - Faible coopération entre industries et centre de recherche. - Taux d'intégration faible de la main d'œuvre qualifiée.
P & M	- Cadre législatif favorable (loi 99-09, 02-01, loi de finance 2000, décret 04-149) - Contribution du FNME et Incitation financière (CES, GPL et GNc et aide pour l'audit énergétique en faveur des industriels).
	- Médiatisation faible des mesures d'incitation. - Cadre institutionnel insuffisant à l'échelon local. - Faible coordination institutionnelle - Non application ou temps long d'application des lois et décrets. - Le faible revenu des ménages et le temps long du retour d'investissement. - Absence d'institutions locales pour promouvoir la politique énergétique. - La politique énergétique est quasiment appliquée en mode top-down. - Faible taux de financement international. - Faible support financier au profit des associations actives dans le domaine de l'énergie et de l'environnement.
Exogène	
Opportunités	Menaces ou risques
S & T	- Formation des architectes et ingénieurs. - Dissémination de la recherche-développement. - Acquisition de nouvelle technologie
	- Risques collatéraux de nouvelle technologie non encore maitrise (gaz de schiste). - Risque du nucléaire. - Remontée sociale contre les nouvelles technologies (gaz du schiste)
M & I	- Meilleur transfert de savoir-faire et technologie entre institution de recherche et industrie. - Augmentation de la valeur du bâtiment - Impact socio-économique positif de l'introduction des EnR. - Développement d'un marché international des énergies renouvelables (le solaire). - Partenariat public-privé à l'échelle nationale et internationale.
	- Difficulté dans l'introduction des GPL, GNc comme carburant pour les voitures et bus. - Difficulté d'introduire des CES à cause du faible coût du Gaz et du temps long de retour de l'investissement. - La hausse des prix des produits à faible consommation d'énergie. - L'application des normes énergétiques dans le bâtiment pourra augmenter le prix du logement et freiner l'accès au logement des ménages les plus défavorables.
P & M	Tirer parti des financements internationaux provenant de l'engagement national pour réduire les émissions des GES (Kyoto et convention cadre des nations unies).
	- Risque de non application de la réglementation à cause du faible engagement à l'échelon local due à l'absence d'institutions compétentes localement. - Le climat des affaires en Algérie est peu attractif par rapport aux pays voisins ce qui réduit le potentiel d'investissement international et augmente la compétition.

La lecture du tableau 1-3 présenté *supra* nous permet d'apprécier l'impact de la politique énergétique en considérant les trois volets essentiels au développement et qui sont : le savoir faire et les avancés technologiques, le marché et l'industrie, ainsi que la politique énergétique et l'ensemble de ses mesures. Cette lecture nous a permis d'identifier une multitude d'actions réalisées ou réalisables dans un futur *peu ou prou* proche portant sur des secteurs considérés comme grands consommateurs de l'énergie en Algérie. Parmi les forces de la politique énergétique en Algérie, on peut citer le développement des capacités technologiques à travers notamment l'émergence de nouveaux centres de recherches spécialisés dans le domaine de l'énergie et la coopération internationale. Ces avancés dans le domaine du savoir-faire viennent encourager le développement des capacités industrielles. Malgré les mesures et encouragements apportés par la loi 99-09, 02-01, la loi de finance 2000 et le décret 04-149, la tarification actuelle joue en défaveur d'une industrialisation proprement installée, car pour les ménages il est peu profitable d'investir dans l'amélioration du confort dans les habitations du moment que le temps de retour de l'investissement est lent.

La revue de la politique énergétique en Algérie semble avoir montré une approche sectorielle, difficile à décliner par territoire pour estimer le potentiel de maitrise de l'énergie local. Ce constat se trouve confirmé car nous n'avons pas trouvé, dans notre revue de la politique énergétique, d'outils voués à la maitrise de l'énergie et applicable à l'échelle de la ville. Subséquemment, notre objet de recherche visant l'identification du potentiel de maitrise de l'énergie sous l'optique de la forme urbaine se trouve justifié car il nous permet de développer une approche multiscalaire et d'effectuer une identification réelle et paramétrable du potentiel de maitrise de l'énergie par un ensemble de déterminants non considérés par la politique énergétique.

SECTION 1B.**ETAT DES LIEUX DE LA RECHERCHE EN ENERGETIQUE DU BATIMENT ET URBAINE EN ALGERIE****1.5. Méthode de la revue de la littérature et synthèse des recherches portant sur la maîtrise de l'énergie en Algérie**

L'objectif de la présente section est de dresser un état de savoir portant sur les recherches gravitant autour de la problématique de la maîtrise de l'énergie en Algérie. Nous nous basons, dans un premier temps, sur les recherches scientifiques évaluées par des pairs et publiées. Dans un second temps, nous avons catégorisé cette littérature sur la base d'une logique multiscalaire, en considérant le cadre législatif (code thermique), les différentes échelles d'approche : de l'occupant, du bâtiment, du quartier, de la ville, du territoire, de la politique, et enfin nous avons considéré le volet de la technologie qui porte principalement sur la production de l'énergie renouvelable.

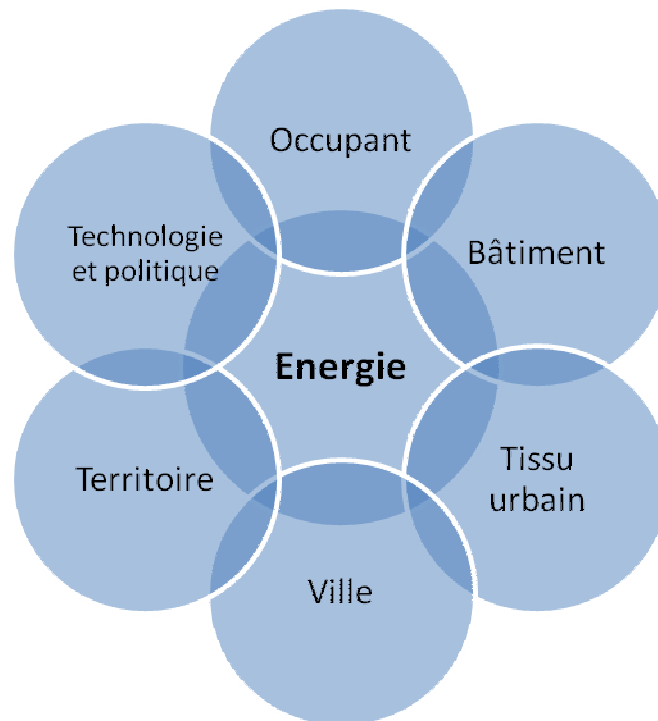


Fig 1- 38: Volets d'intervention de la recherche portant sur l'énergie. Source : S.Boukarta

Notre premier recensement nous a donné plus de 300 publications, parmi lesquelles nous avons considéré dans un premiers temps 217 études³⁵ choisies aléatoirement pour pouvoir estimer l'importance des catégories de recherches en termes de leur nombre. A partir du tableau ci-dessous, l'échelle du bâtiment semble être le volet le plus étudié (109), suivi par celui du tissu urbain (44), de la technologie (37), du territoire et de la politique (29). Les aspects les moins considérés dans les études semblent être celui de l'occupant (5) et celui portant sur le cadre législatif (2) et de l'échelle de la ville (2). C'est un constat signifiant pour nous et qui justifie pleinement l'intérêt de notre recherche.

³⁵ Les titres des articles sont classés par volet d'approche en annexe B.

Tableau 1- 4 : Etudes identifiées portant sur l'énergie (source : S.Boukarta)

Catégorie	Nombre d'études
Législatif	3
Occupant	5
Bâtiment	109
Tissu urbain	44
Ville	5
Territoire	29
Technologie	37

Dans le présent état de savoir, on a considéré de 3 à 10 études par catégorie de sorte que toutes les sous-catégories soient considérées dans la présente section. Chaque étude est analysée en mettant en exergue la nature de la recherche (prédictive, exploratrice, normative, évaluative), la zone climatique considérée, la méthode (qualitative, quantitative) et les paramètres étudiés, le procédé (passif ou actif), les résultats et les limites de la recherche. Enfin, une analyse AFOM est développée pour mettre en exergue les forces et faiblesses de la recherche scientifique portant sur l'énergie en Algérie.

Tableau 1- 5: Synthèse comprenant le nombre des études retenues dans l'état de savoir (source : S.Boukarta)

Catégorie	Etudes retenues
Législative	04
Occupant	04
Bâtiment (passif et actif)	08
Echelle de tissu urbain	13
Echelle de la ville	07
Echelle du territoire	01

Le tableau regroupant une liste de l'ensemble des études considérées dans le présent état de savoir est mis en annexe H. Le tableau est organisé sur la base de la grille de lecture présenté *supra*. Une lecture par catégorie est présentée dans cette section du chapitre 1, regroupant les études avec une lecture critique.

1.6. Etat des savoirs de la recherche portant sur l'énergie

La revue de la littérature portant sur les recherches axées sur la problématique de maîtrise de l'énergie en Algérie nous a permis de mettre en exergue la présence des recherches concernant toutes les catégories, du législatif, à l'occupant, au bâtiment, au tissu urbain, à la ville, au territoire et enfin à la technologie et la politique. L'importance accordée à chaque échelle semble être le reflet de la politique énergétique portée par le gouvernement, tendant vers un mix énergétique en introduisant près de 40% du renouvelable pour l'horizon 2030. Le développement de la recherche en énergie semble alors avoir comme objectif de fournir au marché national des outils, méthodes, techniques et technologies participant dans la réalisation du programme national de la maîtrise de l'énergie. La zone climatique la plus étudiée semble être la zone aride. Le climat saharien, très chaud et sec en été, présente un gisement solaire et éolien très important, ce qui explique l'intérêt porté par la recherche envers cette zone.

De prime à bord, le point qui revient souvent dans la quasi-totalité des recherches porte sur : (i) l'important potentiel d'économie d'énergie pouvant découler de l'intégration des méthodes, outils et techniques ; (ii) la faisabilité de l'introduction des méthodes, outils et procédés pour la maîtrise de l'énergie, car le temps de retour de l'investissement rend peu applicable un bon nombre de recherches, le coût local de l'énergie étant considéré parmi les moins chers au monde. L'importance de la catégorie portant sur le bâtiment et celle de la technologie confirme l'orientation de la recherche qui se veut au service du PNME horizon 2030. Néanmoins, l'examen de la littérature, sélectionnée à titre indicatif et non exhaustif, permet de pointer de doigt le manque d'études portées sur le volet réglementaire et celle de l'occupant. Peu d'études de fond expliquent la relation que tisse l'occupant avec l'énergie et quels sont les paramètres qui interviennent dans ses activités de consommation énergétique.

Une synthèse reprenant les 6 catégories présentées dans le tableau ci-dessus est développée comme suit :

1.6.1. Cadre législatif

Le cadre législatif portant sur la maîtrise de l'énergie en Algérie porte directement sur l'échelle du bâtiment et il est obligatoire à appliquer sur la base de la loi 99-09 portant sur la maîtrise de l'énergie. Cependant cette échelle n'est pas appliquée sur le terrain, car la réglementation portant sur les sanctions prévues en cas de non respect est toujours non promulguée. Entre autres, les DTR C2-3, C3-4 constituent la base de calculs qui permettent de vérifier la conformité « thermique » de bâtiment étudié par rapport à une référence. Ces outils sont inspirées de la réglementation française et se basent sur une approche statique, quasiment abandonnée déjà en France au profit des méthodes dites STD (simulation thermique dynamique), qui prend en considération plusieurs paramètres à la fois et permet entre autres de fournir des données plus précises concernant l'évolution de la température intérieure. Parmi les programmes validés en Algérie, on en trouve TRNSYS et Pleida+comfie qui permettent d'estimer les besoins énergétiques du bâtiment étudié et sont souvent utilisés dans les travaux de recherche, comme c'est indiqué dans le tableau ci-dessus, comme un outil d'optimisation énergétique à l'échelle du bâtiment.

Un guide conçu par le Ministère de l'environnement en collaboration avec le GIZ est mis au service des bureaux d'études et propose une méthode d'intégration du souci énergétique dans les cahiers de charges portant sur la réalisation des bâtiments. Sa portée normative n'est pas obligatoire car il n'y a aucun texte réglementaire qui oblige les bureaux d'études ou même les maitres d'ouvrage d'introduire l'énergie comme passage significatif dans la conception-réalisation des projets.

Dans un second temps, la planification urbaine, introduite depuis 1990 et mise en œuvre par les instruments d'urbanisme comme le PDAU et le POS qui est un instrument de détail, ne s'intéresse point à l'énergie d'une façon directe, à l'exception de la réglementation générale 91-175 via ses articles de 20 à 35 portants sur l'implantation qui garantit un accès solaire aux bâtiments. Cependant, cette réglementation n'est applicable qu'en absence du POS et sur la partie nord du pays. Une réglementation portée par le **Décret 14-27 (2014)** fixant les prescriptions urbanistiques, architecturales et techniques applicables aux constructions dans les wilayas du Sud vient compléter le maillon manquant dans la réglementation de 1990. Mais ce décret se présente comme un ensemble d'orientations, sans donner pour autant de prescriptions chiffrées pouvant aider le concepteur à l'œuvre d'être précis dans sa conception. Le Ministère de l'habitat a ouvert dernièrement le champ de réflexion pour concevoir de nouveaux instruments d'urbanisme, en introduisant des concepts que la réglementation de 1990 ne prend pas en considération, tels que l'énergie et la mobilité.

1.6.2. Catégorie de l'occupant

Dans la littérature scientifique portant sur le rôle de l'occupant (ménage) dans le phénomène de la consommation de l'énergie, c'est la partie la moins étudiée en Algérie. Il nous semble qu'il y a une hypothèse posée sans aucun examen, admise comme une vulgate, consistant à dire que l'occupant n'a point d'effet sur la maîtrise de l'énergie et que la seule intervention possible ne peut passer qu'à travers les spots publicitaires de sensibilisation, incitant à l'économie d'énergie. Mais l'occupant, en tant que variable significative d'étude, n'a jamais été considéré comme tel. Par contre l'occupant est introduit dans les études portant sur les ambiances intérieures, à travers les évaluations post-occupationnelles (Amirat et El Hassar : 2005, Korichi et al : 2007, Belakehal et al : 2009), cependant la consommation n'y est pas considérée directement. L'Aprue (2008) a publié un document comprenant la consommation moyenne des activités consommatrices de l'énergie électrique d'un ménage-type algérien où le réfrigérateur, l'éclairage et la télévision présentent plus de 70% de la consommation totale du ménage. La publication se présente comme une boîte noire ne fournissant aucun détail quant à la composition du ménage ni l'étage climatique dans lequel il se trouve. D'autres études ont pris appui sur ces moyennes de consommation, pour prédire les consommations futures à l'échelle du territoire national (Ghedamsi et al :2016). Alors que dans le cadre des travaux de l'observatoire de maîtrise de l'énergie, l'Aprue a présenté, dans une autre publication, les disparités constatées en termes de consommation de l'énergie par ménage en y ajoutant le carburant (Gasoil, essence et GPL) à travers le territoire national en le divisant en 11 zones (Aprue : 2013) sur la base des consommations énergétiques enregistrées. Cette publication met en exergue le rôle important que joue l'occupant dans la sphère de la consommation de l'énergie, mais n'explique pas les variations constatées.

Selon une approche par simulation et par mesure, nous avons (Boukarta et Berezowska-Azzag : 2018) considéré dans une étude l'occupant comme variable, en le caractérisant selon des critères socio-économiques. Des trois cas d'études considérés dans l'étage climatique subhumide (Médéa), il en est ressorti que le revenu est le premier facteur impactant la consommation énergétique. Mais le nombre limité à trois logements et l'absence d'autres paramètres socio-économiques comme l'âge et le niveau d'instruction se posent comme limites de cette recherche.

1.6.3. Echelle du bâtiment et du tissu urbain

Le bâtiment est l'objet d'étude qui revient le plus dans la littérature scientifique portant sur la maîtrise de l'énergie. Dans un premier temps, la zone climatique la plus étudiée est la zone dite aride suivie par la zone humide. Il est à constater aussi que toutes les études suivent une portée quantitative. On peut regrouper les études en deux grandes sous-catégories, des études à procédé passif et actif : (i) **les études à procédés passifs** portent principalement sur les éléments constituant le bâtiment, à savoir ses caractéristiques géométriques et dimensionnelles, telles que la compacité et des caractéristiques portant sur la qualité thermique de l'enveloppe et des ouvrants. L'objectif de ce type de recherche est d'explorer et d'optimiser les paramètres caractérisant le bâtiment à travers des évaluations faites sous forme de simulation ou mesures *in situ*, comme c'est le cas à travers l'étude faite par Belahya et al (2017) et dans laquelle un Archétype (*DOE design of experiments*) a été choisi pour faire varier un panel de paramètres comme le taux de vitrage, la compacité, la surface et la transmission thermique de l'enveloppe. Cette étude a permis de classer les paramètres selon leur importance dans un modèle permettant de quantifier la demande énergétique via une formule simple d'accès. Dans une autre étude, Hamdani et al (2012) ont mis en évidence l'impact de l'orientation sur la demande énergétique de deux chambres et ils sont arrivés à la conclusion qui consiste à dire que l'orientation a peu d'effet quand le bâtiment est bien isolé. C'est intéressant comme constat qui, s'il est confirmé par d'autres expérimentations, pourrait avoir l'influence sur la maîtrise de l'énergie de forme urbaine. D'autre part, Derradji et al (2017), à travers une série de simulations sous TRNSYS ont pu fixer l'épaisseur optimale du polystyrène extrudé entre 1 et 2.5 cm pour un taux de vitrage de 10 et 50% respectivement. Fezzioui et al (2016) ont pu valider la faisabilité thermique de la « Skifa » à travers des mesures *in situ* et optimiser son fonctionnement à travers ses dimensions (2*2), en s'appuyant sur des simulations sous TRNSYS. D'autres études portent sur l'optimisation thermique des matériaux, comme l'introduction de la pouzzolane aux mortiers pour améliorer sa résistance thermique avec une concentration optimale estimée à 15% (Laoufi et al : 2016) ; (ii) **les études à procédés actifs** portent sur l'addition des éléments autres que ceux constituant un bâtiment conventionnel en vue de réduire sa demande en énergie d'appoint. Souvent ces éléments, conjugués, fonctionnent par les énergies renouvelables. Ainsi, Belkacem et al (2015 et 2017) ont démontré par simulation sous le programme FLUENT qu'un chauffage par plancher réversible (DSF) pourrait couvrir plus de 67% de la demande énergétique d'un bâtiment « bioclimatique » à Alger et assurer une distribution meilleure de la chaleur qu'un chauffage conventionnel, et qu'une augmentation du taux de vitrage de 10 à 50% pourrait réduire la demande en chauffage, mais qu'en même temps la réduction de la demande en climatisation requiert une protection solaire et une ventilation nocturne. Ainsi, Missoum et al (2016) ont démontrée que l'intégration d'une grille de panneaux photovoltaïques avec une puissance de 0.8Kw pourrait réduire à zéro la demande énergétique d'une maison « bioclimatique » située en zone humide. D'autres

auteurs ayant travaillé sur le procédé actif pointent du doigt la faible faisabilité économique d'une telle intégration, vu le temps long de retour de l'investissement.

En revanche, en ce qui concerne **l'échelle urbaine**, elle est considérée comme tout fragment spatial pouvant avoir la dimension d'une rue, d'un îlot, d'un quartier ou d'un ensemble de quartiers, mais pas la dimension d'une ville. Les étages climatiques portent souvent sur l'aride et l'humide en seconde position. Alors que la méthode d'évaluation est souvent réalisée par des mesures *in situ* qui valident la fiabilité du modèle de simulation utilisé et permettra par la suite de procéder à une optimisation paramétrique, les résultats sont souvent un mix entre le quantitatif et le qualitatif qui, lui, est expressément utilisé pour les études du confort thermique. Les publications scientifiques portant sur cette échelle traitent la question en focalisant sur le confort thermique dans l'espace urbain et en évaluant sa dimension microclimatique (ensoleillement, ventilation, ICU), la qualité de son ambiance (éclairage naturel) ou sa dimension énergétique, qui, elle, selon notre recherche, reste peu développée en Algérie. Parmi les études portant sur le microclimat, on peut citer Bellout (2016) qui a identifié l'impact de la végétation et de l'eau dans l'amélioration des conditions microclimatiques dans un climat semi-aride (Sétif). L'approche s'est déroulée en mesures *in situ* suivie par une modélisation et simulation sous le logiciel ENVI-MET. Il en est ressorti qu'une augmentation de la densité végétale et de la surface de l'eau peut réduire la température de 1.61 à 3.43°C. Cette étude n'en donne pas la densité optimale, mais indique une amélioration du confort thermique via la végétation et l'eau. Dans la même lignée, Atik et al (2014) ont montré qu'une toiture végétale réduit la température de 0.4°C. Les mêmes auteurs mettent en exergue le ratio surface végétale/surface du site, sans donner la valeur optimale dans la zone climatique de l'étude (humide). Aussi, Boukheikh et Bourbia (2016) ont démontré à travers des mesures *in situ* et des simulations sous ENVI-MET qu'un bon usage du prospect, de la végétation et des matériaux constituant l'enveloppe des bâtiments bordant la rue dans un climat aride, améliore sensiblement le confort thermique. Khelifi et al (2015) ont démontré quant à eux l'amélioration thermo-aérolrique pouvant découler de l'usage des passages couverts dans la zone aride de Timimoune et qui peut atteindre une réduction de 3° de la température de l'air et de 6 à 9° pour les surfaces des parois bordant le passage couvert. Beaucoup de recherches (Boussoulalim et al : 2006, Bourbia et Awbi : 2004, Bourbia et al : 2005, Ali-toudert et Mayer : 2003) portent sur l'optimisation du thermique à travers le design des rues en zone aride en caractérisant la rue par son prospect (H/L), son ouverture au ciel (SVF) et par son orientation. Il en est ressorti que le confort thermique est sujet d'amélioration sous l'effet de l'orientation (NE-SO) mais il est d'autant plus sensible à l'impact régulateur du prospect. D'autres recherches montrent l'importance de la morphologie urbaine dans la formation-atténuation du phénomène de l'îlot de chaleur urbain (Boukarta et Mokhtari : 2017, Boukhabla et al : 2013). L'aspect énergétique en échelle urbaine n'est pas abordé frontalement en Algérie. C'est plutôt le confort thermique qui est l'objet de toutes les études que nous avons pu recenser dans notre recherche.

1.6.4. Echelle de la ville et du territoire

A **l'échelle de la ville**, la revue de la littérature scientifique portant sur l'énergie est encore à ses débuts en Algérie. Elle n'aborde que peu la question énergétique individuellement et traite plutôt les aspects liés aux paramètres pouvant compromettre la vulnérabilité de la ville étudiée (Bouattou : 2016). D'autres recherches portent sur le souci de l'intégration de la dimension énergétique en

planification urbaine en se basant sur une méthode d'approche multiscalaire, telle que proposée par Ali-Toudert (2000) qui propose une approche non fractale, c'est-à-dire que pour chaque échelle une méthode séparée est mise en place pour intégrer la dimension énergétique. Ali-Toudert (2000) envisage une approche descendante (*top-down*) pour introduire la dimension climatique du contexte régional aux configurations urbaines avec leur dimension microclimatique. La méthode ainsi proposée n'introduit pas l'échelle du bâtiment ni celle de l'occupant. Dans la même lignée et selon une autre logique, Amoura (2014), présente une approche de la planification urbaine via la densité énergétique comme indicateur aidant à mieux maîtriser l'énergie en milieu urbain (Amoura : 2014) dans la zone climatique d'Alger. Boukarta et Berezowska (2017-b) ont pu élaborer une méthode prédictive de la consommation énergétique à l'échelle de l'îlot, via une approche statistique et sur la base d'une approche holistique caractérisant la consommation énergétique à l'échelle de l'îlot qui, lui, est considéré comme intermédiaire entre une échelle réduite comme celle du bâtiment et une échelle trop large dépassant les limites du quartier. La méthode développée ne caractérise que l'îlot, selon ses attributs physiques et géométriques, alors que l'occupant est non caractérisé et est considéré comme invariable à cette échelle.

D'autre part, nous avons aussi examiné des études plus élargies, territoriales. On entend par territoire l'échelle dépassant celle de la ville, représentant un ensemble de ville avec son arrière-pays, voire tout le pays. En ce qui concerne donc **l'échelle du territoire**, les études à cette échelle sont très limitées et ne portent que sur la prédiction de la consommation des énergies fossiles, la date butoir représentant la fin de l'ère de l'exportation (Cherfi : 2011), sans mettre en exergue la consommation finale par ménage.

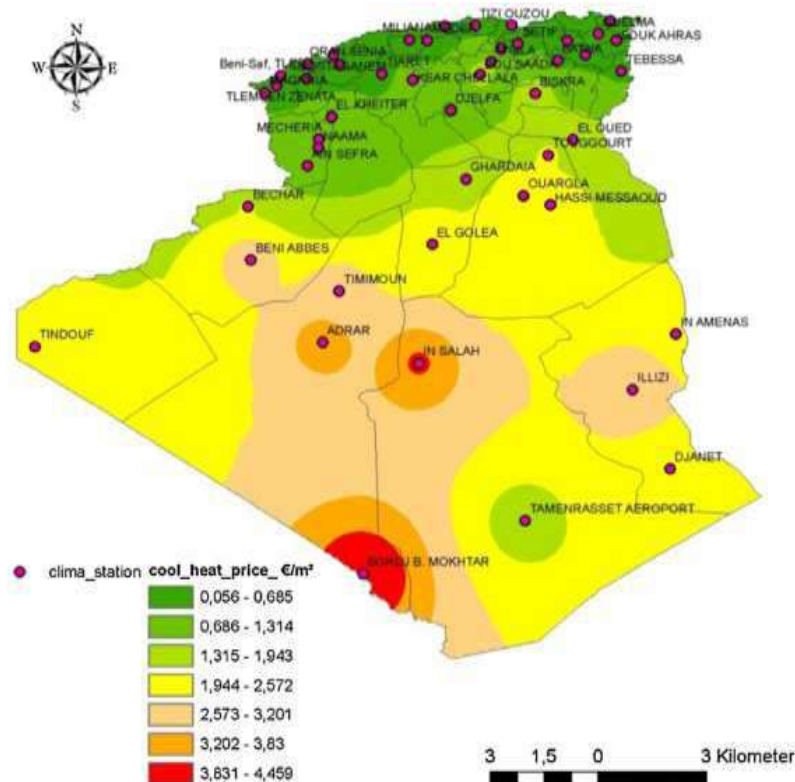


Fig. 5. Climatic zones in Algeria according to energy consumption costs.

Fig 1- 39: Zone climatique selon la consommation d'énergie (source : Ghedamsi et al : 2016)

Dans la même logique de prédiction future de la consommation de l'énergie, Ghedamsi et al (2016) présente un modèle prospectif conçu selon une approche *bottom-up* de la consommation énergétique en se basant sur les données de l'Aprue (2008) représentant la consommation type d'un ménage algérien par poste de consommation. L'étude s'est alors basée sur l'hypothèse considérant l'occupant et la consommation qui découle de ses activités comme invariables d'une région à une autre et que la consommation finale énergétique n'est différenciée que par le nombre des ménages par ville. L'étude indique l'évolution de la consommation énergétique à l'échelle du territoire selon un seul scénario, considérant comme stable l'allure du développement en Algérie. Il en ressort de cette étude que dans la zone aride comme Bordj B.Mokhtar la consommation touche son paroxysme avec plus de 3.8Kwh/m².

1.6.5. Secteur de technologie et la politique énergétique

Le volet technologique (37 études) est important dans la réalisation du programme national de maîtrise de l'énergie à horizon de 2030. Mais du fait qu'il soit hors de nos compétences, nous avons mis en exergue son importance au niveau de ce chapitre vu sa part importante dans le secteur de la recherche, due principalement à l'engagement du gouvernement dans l'industrialisation du pays et dans la production de l'énergie renouvelable, sans donner les détails techniques. La recherche dans le secteur portant sur la technologie de l'énergie est importante et est principalement portée par les centres de recherche comme l'UDES et le CDER. On peut classer ces recherches selon le mode de production de l'énergie et le terrain d'application en huit catégories : (i) la recherche dans le solaire thermique qui est principalement portée par l'optimisation des (CSP), le solaire thermique à concentration (Mihoub et al : 2017, Chabane et al : 2013) ; (ii) la recherche portant sur l'énergie éolienne (Bouchahm et al : 2011, Merzouk et al : 2006), (iii) la recherche portée sur les technologies de matériaux de construction, comme l'utilisation des matériaux à changement de Phase (Laoufi et al : 2016, Chikhi et al : 2013) ; (iv) les recherches portant sur la géothermie comme source d'énergie (Fekraoui et al : 2000) ou appliqués directement aux bâtiments (Benhammou et Draoui : 2012) ; (v) des recherches portant sur la production de l'hydrogène à partir des CSP (Boudries : 2017) ou à partir de l'énergie éolienne (Douak et Settou : 2015) ; (vi) des recherches portant sur la production du carburant alternatifs (Rahal et al : 2016) comme à partir de dioxyde de carbone (Reciou et al 2016) ; (vii) et des recherches portant sur la production hybride de l'énergie (Chadel et al : 2017, Saheb-Koussa et al : 2009), et enfin ; (viii) les recherches portant sur l'énergie photovoltaïque est sa faisabilité socio-économique (Benamrane et al : 2017, Arab et al : 2005).

Le volet de la recherche portant sur la politique énergétique en Algérie est à son tour assez abondant, nous l'avons traité avec plus de détail dans la première section du présent chapitre.

1.7. Analyse AFOM de la revue de la littérature scientifique portant sur la maîtrise de l'énergie en Algérie

Sur la base de la même grille utilisée dans la première section : (i) savoir-faire et avancée technologique (S&T), (ii) marché et industrie (M&I), (iii) politique et mesures (P&M), nous avons effectué une analyse AFOM présentée dans le tableau ci-dessous, qui synthétise et met en exergue les effets endogènes (forces et faiblesses) et exogènes (opportunités et risques) de la recherche scientifique portant sur la maîtrise de l'énergie en Algérie. Voir tableau ci-dessous.

Tableau 1- 6: Analyse AFOM de l'état des lieux de la recherche portant sur l'énergie en Algérie.

Endogène		
Forces	faiblesses	
S & T	• Prolifération des recherches portant sur la maitrise de l'énergie dans toutes les échelles. • Coopération internationales entres centres et institutions scientifiques. • Prolifération des expérimentations et bonnes pratiques à travers des projets pilotes réalisés dans les différents étages climatiques. • La gratuité d'accès aux guides et conseils portant sur la maitrise de l'énergie en Algérie.	• Peu de réseautage et faible coordination entre le monde de la recherche et le monde de l'entreprise. • Peu d'études prospectives et peu d'étude portant sur l'occupant. • La non transcription des résultats des recherches sous formes de texte réglementaire. • Peu de recherches appliquées dans le secteur de la géothermie et la biomasse. • Le faible taux de recyclage des professionnels dans le domaine de l'énergétique.
M & I	• Intégration des centres de recherche comme l'UDES et le CNERIB dans la recherche appliquée. • L'apparition du marché de l'énergie comme vecteur porteur de développement. • Prolifération des projets de recherche financés par le ministère de l'enseignement supérieur.	• Marché des énergies renouvelables freinées à cause de la faible demande et la cherté de l'offre selon les chercheurs. • Temps lent de retour de l'investissement à cause de la tarification faible de l'énergie en Algérie et coût élevé de la technologie malgré les subventions proposées par le gouvernement. • Faible coopération entre industries et centre de recherche. • Taux d'intégration faible des experts-chercheurs localement.
P & M	• Cadre législatif favorable (loi 99-09, 02-01, loi de finance 2000, décret 04-149) • Réglementations thermiques	• Absence d'intermédiaire (associations) de vulgarisation des résultats scientifiques auprès du grand public. • Faible coordination entre les acteurs locaux et les chercheurs. • Faible taux de financement international. • Faible support financier au profit des associations actives dans le domaine de l'énergie et de l'environnement.
Exogène		
Opportunités	Menaces ou risques	
S & T	• Apparition de nouvelles spécialités dans le domaine de l'énergétique. • Potentiel d'atteindre des bâtiments voire des commune à zéro énergie.	• La non popularité de certains domaines de recherche comme le nucléaire et le gaz du schiste. • La non maitrise des effets qui peuvent provenir de l'utilisation des technologies nouvelles et encore non maitrisées.
M & I	• Possibilité de développement de nouvelles filiales énergétiques comme la géothermie et la biomasse. • Augmentation de la demande en main d'œuvre qualifiée pour appliquer les mesures de la maitrise de l'énergie. • Intégration de l'université et les centres de recherches dans le monde de l'entreprise. • Potentiel d'obtention des financements internationaux pour réaliser des recherches portant sur la maitrise de l'énergie. • Potentiel de prolifération des startups spécialisées en énergétique.	• Difficulté d'introduire les nouvelles technologies comme le chauffe-eau solaire et le plancher réversible à cause du manque de médiatisation. • L'application des normes énergétiques obtenues de la recherche scientifique pourra élever le coût d'accès au bien comme le logement ou appareil électroménager ou matériaux de construction innovants.

P & M	• Financer les projets de recherches portant sur la maîtrise de l'énergie et l'atténuation des émissions des gaz à effet de serre selon les accords internationaux (Kyoto et convention cadre des Nations unies).	• Risque de révoltes sociales contre certains projets de recherches. • Peu d'intérêt porté localement à l'énergie par les acteurs locaux à cause d'absence de compétitivité entre les communes et la centralisation de la compétence portant sur la maîtrise de l'énergie. • La crise économique peut freiner l'engagement du gouvernement quant au financement des projets de recherche portant sur l'énergie.

1.8.Maitrise de l'énergie comme problématique de maîtrise d'œuvre urbaine

L'analyse AFOM présentée *supra* démontre que la recherche scientifique portant sur la maîtrise de l'énergie en Algérie est encore à ses débuts et l'orientation principale de la recherche scientifique se veut fournir le Plan nationale de maitrise de l'énergie d'outils et de méthodes permettant sa mise en œuvre. L'analyse nous montre aussi que malgré la prolifération des recherches, le réseautage est encore faible entre les différentes institutions actives dans le domaine de l'énergie. Encore, et malgré un cadre réglementaire favorable à l'industrialisation dans le domaine de l'énergétique, l'engagement reste timide et peu consistant, et ceci revient principalement à la faible présence, à l'échelle locale, d'organes intermédiaires de vulgarisation des résultats de la recherche, et à la faible tarification de l'énergie ce qui rend lent le temps de retour de l'investissement. Un effort reste alors à considérer pour valoriser et appliquer les recherches existantes.

Ceci dit, si jusqu'à présent notre regard était essentiellement porté sur les aspects liés aux conditions politiques d'optimisation de la consommation de l'énergie face à la crise énergétique à venir et en situation de la demande croissante, nous avons vu que les solutions proposées ne se rapportent pas forcément aux composantes de l'écosystème urbain qui sont à l'origine de cette croissance.

La triangulation systémique occupant/bâtiment/mobilité, suggérée par les résultats de la revue de la littérature scientifique et qui conjugue trois aspects entre le socioéconomique, le spatial et le fonctionnel, nous semble la plus appropriée pour estimer le potentiel de maîtrise de l'énergie, quel que soit le contexte climatique et, à plus forte raison, dans le contexte semi-aride, propre à une région de l'Algérie, celle des Hauts Plateaux, censée assumer le futur développement socioéconomique et le rééquilibrage du territoire national en recevant des projets urbains et territoriaux de grande envergure. Ainsi, dans la situation de crise énergétique, **LA MAITRISE DE L'ENERGIE devient le socle fondamental de LA MAITRISE D'ŒUVRE URBAINE.**

Les architectes-urbanistes, les aménageurs, mais aussi tous les corps des métiers qui gravitent autour de la conception urbaine et de développement durable, sont désormais concernés par la mise en œuvre d'une approche conceptuelle qui intègre la maîtrise de l'énergie à travers toutes les catégories formelles et fonctionnelles de la ville. La forme urbaine, matière première de composition des ensembles urbains, comprise comme l'expression de structure morphologique et fonctionnelle en même temps, offre un vaste champ des possibilités d'exercice de cette maitrise.

Conclusion du premier chapitre

Nous avons vu à travers ce chapitre le développement de la politique énergétique depuis l'apparition des premières exploitations des hydrocarbures jusqu'à nos jours. La constante ou la permanence dans toute la politique est la quasi-dépendance de toute politique de développement des rentes des hydrocarbures, ce qui expose le pays à une vulnérabilité, instabilité et dépendance au prix du baril, qui, lui, connaît d'ailleurs des fluctuations importantes. Toute budgétisation est directement dépendante de son prix.

Avec l'avènement des chocs pétroliers des années 1980, et de crises que connaît le monde ces derniers temps, l'Algérie a envisagé une adaptation institutionnelle et législative pour se prémunir contre d'éventuels changements dans le marché des hydrocarbures. En maximisant dans un premier temps les recherches des gisements qui ont abouti à des découvertes importantes exploitées pleinement et avec une cadence accélérée dans les années 2000, l'économie nationale a pu éclore avec le PIB des 200 milliards USD en 2012. Dans la même période, l'Algérie s'est engagée à travers la signature du protocole de Kyoto et la convention-cadre des Nations unies dans la démarche du développement durable, en mettant l'accent sur l'aspect environnemental. Il s'en est suivi un inventaire sur les émissions des GES et une deuxième restructuration législative et institutionnelle, marquée notamment par la promulgation de la loi 99-09 qui a mis les jalons d'une véritable politique énergétique orientée vers un mix énergétique et portée par l'application du Plan National de Maîtrise de l'Énergie (PNME), conçu en deux volets, une efficacité d'énergie EE et le développement des énergies renouvelables EnR. Ce choix de la pluralité énergétique est d'autant plus confirmé par les études prospectives qui, toutes, ont pointé du doigt la finitude des réserves en hydrocarbure, avec un recul important pour le pétrole dès l'horizon 2030, où la production ne pourra point satisfaire la demande du marché local. Ainsi, la politique énergétique adoptée met l'accent sur une utilisation et exportation du gaz associées à une politique de rationalisation, portée par l'efficacité énergétique d'un côté et le développement des énergies renouvelables de l'autre. Le gouvernement a aussi légiféré, tout un arsenal juridique favorable à l'industrie des énergies renouvelables en Algérie, notamment à travers la loi 02-01 relative à l'électricité et la distribution publique du gaz par canalisations et la loi 04-149 portant sur la promotion des énergies renouvelables. Mais il se trouve que la politique de tarification actuelle se pose comme un frein et barrière devant l'application de ce mix énergétique. La faible tarification implique un temps long de retour pour tout investissement du consommateur final dans toute opération de rationalisation ou d'économie d'énergie, et ce, malgré les mesures incitatives du gouvernement matérialisées par la participation, via le Fonds national de maîtrise de l'énergie (FNME), dans le financement de toute opération d'efficacité énergétique à 80 % pour l'isolation des logements, à 50% pour le GPL, GNC et 45 % pour le CES.

Malgré tout le potentiel que recèle l'Algérie en termes d'économie potentielle d'énergie d'un côté et du potentiel en énergie renouvelable de l'autre, l'Algérie connaît une compétition rude dans le marché international, d'autant plus que le climat national des affaires donne profit au pays voisins qui, d'ores et déjà, ont fait preuve d'intérêt et ont gagné des parts importantes du marché. La politique énergétique en Algérie connaît un ralentissement dans l'application malgré l'orientation de la loi 99-09 et la présence de la réglementation thermique des bâtiments.

Nous avons constaté que la politique énergétique en Algérie a un caractère sectoriel corroboré par l'absence d'outils de maîtrise de l'énergie applicable à l'échelle de la ville. Aussi, cette même politique énergétique connaît des faiblesses d'ordre technologique et du savoir-faire, dues principalement au manque de coordinations entre les différentes institutions, malgré l'essaimage des centres de recherche et l'intérêt grandissant des universités, écoles et instituts porté à l'égard de l'énergie. L'Algérie devra aussi tirer profit des possibilités de financement provenant de l'international, conformément aux accords engagés, pour développer ses potentialités énergétiques et optimiser leur usage.

A travers la deuxième section du présent chapitre, nous avons aussi passé en revue, de manière non exhaustive, la littérature scientifique portant sur la maîtrise de l'énergie en Algérie. A travers une lecture par catégories, nous pouvons constater que l'échelle la plus étudiée est celle du bâtiment, suivie par la catégorie technologique. D'autres volets n'abordent pas la question énergétique d'une façon directe mais plutôt indirecte, comme c'est le cas pour l'échelle urbaine, où la question qui revient le plus est celle du confort thermique plutôt que celle de l'énergie directement. A l'échelle de la ville, l'énergie est souvent considérée comme un paramètre de contrôle utilisé dans une approche systémique, visant par exemple la vulnérabilité urbaine ou la planification énergétique. La catégorie qui a attiré notre attention par le manque d'études qui lui seraient consacrées est celle de l'occupant, où son mode et conditions de consommation de l'énergie ne sont pas considérés directement. La méthode d'analyse qui revient le plus au niveau de cette échelle est la méthode post-occupationnelle, agissant sur la base de plusieurs outils pour arriver à évaluer la qualité de l'occupation en mettant en exergue la perception de l'occupant d'un côté et une base de données à portée quantitative et qualitative de l'autre. Quant à l'étage climatique, le plus étudié en Algérie est celui de la zone aride qui représente plus de 80% de la superficie du pays et recèle un gisement solaire et éolien très important. Cette zone est, à juste titre, considéré comme un vecteur de développement pouvant couvrir la demande nationale et européenne, rien qu'en considérant une partie du territoire saharien. Les recherches que nous avons pu analyser dans ce chapitre à titre indicatif sont souvent quantitatives, comprenant d'un côté le mesurable *in-situ* et le paramétrable *via* simulation, où un panel de différents logiciels est souvent utilisé selon le besoin et après validation sur la base des données prises sur le site. Le volet recherche portant sur la technologie de production est caractérisé principalement par le souci de production des énergies renouvelable pour répondre à l'objectif du programme national de la maîtrise d'énergie, voulant introduire près de 40% du renouvelable à l'horizon 2030.

Le volet politique quant à lui nous montre une volonté affichée et des engagements portés selon un mode *top-down* avec un portage quasi-centralisé, où une asymétrie est identifiable entre acteurs locaux (responsables), dont l'action principale est motivée par la gestion de la quotidienneté habitante, et responsables nationaux motivés par le développement national dont la principale force motrice est l'énergie (fossile). Son tarif bas actuel influe visiblement sur le fait que les acteurs locaux ne lui apportent pas l'égard nécessaire pour qu'un engagement local soit enclenché (Boukarta : 2011). Les scientifiques pointent du doigt le potentiel important en termes d'économie d'énergie et considèrent le temps lent de retour de l'investissement comme la barrière principale quant à la faisabilité et l'application des outils technologiques développés. Devant une telle situation, le marché de l'énergie devient erratique et stagne devant une demande croissante. Alors que, en même temps,

la faible acceptabilité locale de nouvelles méthodes et outils d'évaluation, de monitoring et de contrôle freine le développement de la recherche scientifique portant sur l'énergie.

Méthodologiquement parlant, chaque catégorie semble se différencier des autres par la méthode d'analyse, qui naturellement s'adapte à l'objet de l'étude. Il nous est possible à ce niveau d'avancer l'idée qui consiste à dire que la maîtrise de l'énergie en Algérie est une problématique non fractale, proposant pour chaque échelle une méthode d'analyse spécifique. Mais si l'on s'intéresse à une vision globale, on remarquera qu'il y a la possibilité de fusionner certaines échelles en une étude multiscalaire, pouvant identifier avec plus de précision et d'une façon plus effective le potentiel de maîtrise de l'énergie, en proposant une approche qui se base sur l'occupant, tout en identifiant son environnement bâti et urbain, pouvant aller jusqu'à la ville, voire le territoire. Dans notre lecture de l'état d'avancement de la recherche scientifique portant sur l'énergie en Algérie, quatre études ont une approche multiscalaire : Ali-toudert (2000), Boukarta et Berezowska-Azzag (2017a : 2017b), ainsi que Ghedamsi et al (2016). La proposition de Ali-Toudert porte sur l'intégration des données climatiques dans la planification urbaine, la méthode proposée est multiscalaire et consiste à appliquer les résultats des recherches scientifiques selon l'échelle considérée, cependant l'occupant n'a pas été considéré dans cette méthodologie d'approche. Ghedamsi et al (2016) ont proposé une méthode multiscalaire considérée à l'échelle du pays, mais l'occupant dans cette étude est considéré comme invariable et la différenciation ne s'est faite qu'à travers le nombre de ménages et le taux de propriété des appareils électroménagers par ville. Les caractéristiques spécifiques et socio-économiques de l'occupant n'ont pas été considérées. Par ailleurs, l'Aprue (2015) a bien mis en exergue les différences remarquables entre les 11 différentes zones géo-climatiques identifiées en termes de consommation énergétique.

Par conséquent, dans la recherche que nous menons, nous proposons une méthode pour estimer le potentiel de maîtrise de l'énergie dans le secteur résidentiel, en s'appuyant sur l'occupant comme entrée multiscalaire et objet d'étude lié à toutes les autres échelles considérées tant à l'échelle du bâtiment, qu'à l'échelle urbaine et celle de la ville. Pour nous, la consommation d'énergie qui en découle sera le reflet des interactions entre l'occupant (ménage) et les autres paramètres identifiés à différentes échelles, dont l'effet sera évalué en fonction de l'occupant à travers le bâtiment et la mobilité. Selon certaines études, le potentiel d'économie d'énergie peut atteindre les 50% (Salat : 2011), si l'on considère le transport et le bâtiment conjointement. Ce constat nous mènera par conséquent sur une recherche des moyens d'exploiter ce potentiel. Dans le chapitre qui suit, nous allons en explorer les contours théoriques.

2

CHAPITRE 2

FORMES URBAINES ET MAITRISE DE L'ENERGIE, APPORTS THEORIQUES ET PRECISIONS CONCEPTUELLES

Le chapitre 2 met en exergue le développement des définitions de la forme urbaine car ce concept a une portée polysémique et multiscalaire qu'il est indispensable de revoir et de lui préciser le sens et la portée. Aussi, ce chapitre explore les entrées possibles pour explorer la synergie, forme urbaine et demande énergétique induite par l'habitat et la mobilité afin d'arriver à un modèle global représentant le potentiel de maîtrise de l'énergie des formes urbaines.

2.1. Forme urbaine comme un fait de représentation du système urbain

Dans l'antiquité, *forma* exprime la beauté à visage féminin (Salat : 2011 : 27). A travers les études portant sur l'urbanisme, le concept de forme urbaine a souvent fait confusion car ne reposant point sur une définition rigoureuse et soulevant ainsi des problèmes d'ordre théorique et méthodologique (Lévy : 2005 :25, Salat : 2011). La *forma urbis* se définit littéralement comme une périphrase composée de « forme » provenant du latin *forma* signifiant « moule, type, image » et de *urbis* signifiant « ville » (Mac-Antoni : année, Salat : 2011). Selon le dictionnaire le Petit Robert (2012), le mot « forme » évoque soit une apparence (l'aspect visible) ; soit un mode particulier selon lequel un ensemble est organisé ; soit une manière d'agir ou de procéder, « *selon les règles convenues, établies* » ; soit encore un (des) principe(s) interne d'unité, « *ce qui impose des conditions à notre expérience* ». Cela laisse sous-entendre que « la forme » entant qu'aspect physique ne nous renseigne pas d'une manière immédiate sur la façon avec laquelle elle a été obtenue (Gruet : 2006 :356), qu'il soit d'ordre organisationnel, morphologique, physiologique ou normatif.

Benevolo (1994), Lévy (2005), Salat (2011), Choay (1965) ou Choay et Merlin (2015) ont apporté un éclairage historique sur le développement de la ville et les des définitions de la forme urbaine. De prime à bord, il apparaît que la forme urbaine entant qu'objet d'étude et du projet n'est apparue que vers la fin de 18^{ème} siècle et au 19^{ème} siècle, comme pré-urbanisme voulant répondre aux problématiques que connaissait alors la ville. Entre progressistes (Owen, Fourier, Proudhon, Richardson et Cabet) et culturalistes (Morris, Ruskin et Howard), les modèles s'enchaînaient pour tenter de retrouver une forme pouvant rendre à la ville l'essence de son existence. Ainsi faisaient les protagonistes de l'urbanisme, considérés aussi comme des spécialistes de la question urbaine (Le Corbusier, Gropius, Tony Garnier, etc.), avec qui le rationalisme, fonctionnalisme, zonage,

organisation des flux et universalité étaient les concepts-clés régissant le fondement de la forme urbaine. Mais sur le plan théorique, la forme urbaine n'a été précisément l'objet d'étude qu'au début du vingtième siècle (1926, 1941, 1953) à travers les ouvrages, comme ceux de P. Lavedan « *qui a considéré l'étude de la forme urbaine dans le champ de l'histoire de l'art, en proposant d'étudier les plans des villes comme on étudie une église, un château ou une maison* » (Merlin et Choay : 2015 : 351). Malgré son statut d'historien, Lavedan a préféré utiliser le jargon des architectes-urbanistes en utilisant un ensemble d'actions pour penser la ville : tracer, séparer, aménager, répartir (Grudet : 2005 : 45). L'école anglaise des années 1960, 1970, avec Morris, Bacon et Rasmussen, s'est rangée dans la même perspective que Lavedan. Selon Claval (1981), dès les années 1980 les géographes ont aussi apporté deux acceptions nouvelles de la forme urbaine, l'une portant sur la dimension du paysage urbain selon sa portée physique, et l'autre sur la géographie des représentations qui porte sur l'aspect comportemental des groupes et individus, en mettant l'accent sur la notion de « rapport », du vécu et de l'image mentale et non sur l'aspect spatial de la forme urbaine (Merlin et Choay : 2015 : 352). Dès les années 1950, et à travers les travaux de Saverio Muratori et ses disciples, notamment Aymonino et Caniggia, et comme réponse à la dissolution et la destruction de la ville, la forme urbaine est considérée selon la double logique : celle du tissu, en mettant en exergue les interrelations que tissent les éléments du tissu entre eux et avec le territoire, et celle issue d'une analyse diachronique retraçant la formation-transformation de la ville et d'une analyse synchronique caractérisant la forme urbaine en un instant T. A travers l'apport de l'école italienne, des notions comme le type, la croissance, la typologie du bâti, les éléments de permanence et de persistance ont été développés. En France, l'inspiration italienne se fait ressentir notamment à travers les travaux de Boudon et Chastel (1977³⁶), Rouleau (1985), Devillers (1974), Castex et Pannerai (1979), qui cernent la forme urbaine à travers la lecture des structures parcellaires et la typologie du bâti. En Angleterre, Bill Hillier avec son « *space syntax* » dès 1983 a mis en place une approche caractérisant la construction de la forme urbaine selon des considérations physiques et spatiales, sans considérer l'épaisseur du temps dans le processus de formation (Choay : 2015).

A partir de l'évolution historique de la forme urbaine en tant qu'objet d'étude, il paraît clairement que : (i) la forme urbaine est un concept **polysémique** souvent utilisé selon la spécialité de celui qui l'évoque et selon le sens accepté dans une période donnée de la ville. Ainsi, la forme urbaine peut être considérée antérieurement au moment de l'analyse, comme un objet de connaissance à construire ou comme objet déjà construit soumis à l'analyse pour identifier une typologie par exemple (Choay : 2015) ; (ii) de cette lecture il en ressort aussi la dimension **multiscale ou polymorphique** (Lévy : 2005) de la forme urbaine, tantôt considérée à l'échelle du quartier, tantôt celle de la ville voire la ville avec sa périphérie, dans le cas des villes polarisantes comme les métropoles ; (iii) à travers le développement historique, la forme urbaine se présente comme une donnée construite par le truchement d'une hypothèse de définition, d'une représentation de la forme urbaine propre à une époque donnée et c'est ce que Whitehand (2001) appelle « période morphologique », l'essence d'un « fait culturel » (Salat : 2011 : 29). La forme urbaine est représentée comme un tracé structurant entre les deux guerres, puis tissu dans l'école italienne, française et anglaise (Lévy : 2005 : 28), comme un réseau et des boucles de rétroaction selon l'approche écologique des années 1925, et celle métabolique des années 1980. Il en ressort que la forme urbaine mute sous l'effet de changement de la grammaire (Lévy : 2005 : 39) et que tout choix de définition est subjectif, car ne

³⁶ Rapporté par Choay et Merlin (2015)

procédant d'aucune certitude absolument rationnelle (Grudet : 2006 :356). Grudet précise aussi que pour comprendre la ville, il faut se poser la question sur ce que l'on cherche à connaître d'une ville. Et enfin (iv) toute définition de forme urbaine se présente comme un système et c'est à travers la combinaison particulière des composantes en système que la cohérence, l'unité et l'identité de la forme urbaine seront identifiées. Lévy (2005 : 45) évoque l'idée de commutation, d'une corrélation étroite entre expression et contenu, et propose deux méthodes pour approcher la définition de la forme urbaine en s'appuyant sur : (a) **le type idéal** de Max Weber, qui à travers la lecture historique de la ville européenne conclut que toute discontinuité de la forme urbaine est causée par une rupture épistémique, pour reprendre ici le jargon M.Focault. Il précise, entre autres, que les ruptures et discontinuités de la forme urbaine sont portées par l'addition d'un registre dans le système urbain. Lévy décèle 5 registres d'analyse : le tracé, le tissu, le paysage urbain, le registre bioclimatique et enfin le registre social ; (b) **un système de règles** ordonnant le savoir urbanistique et la forme urbaine d'une période donnée. Dans la même lignée, Lévy (1999) ordonne le développement de la forme urbaine en trois périodes : le pré-urbanisme, la période moderne et la période post-moderne. Tout essai de définition de la forme urbaine a, jusque-là, confirmé l'aspect erratique dans le temps de tout déterminisme dans la définition de la forme urbaine. Et la définition de l'urbanisme proposée par Choay (2005) reflète et étaye aussi cette conclusion : l'urbanisme se définit aussi comme pratique renouvelée sans cesse, visant la découverte des lois dont le fonctionnement spontanée était jusqu'alors demeuré caché, et à les appliquer délibérément dans la conception et l'organisation de l'espace (Choay : 2005 : 912). Dans un premier temps, ce développement évoque le caractère systémique de la forme urbaine, et, dans un second temps, le système ici doit être considéré comme ouvert dans le temps, pouvant être modifié sous l'apport des nouvelles données.

Aussi, à travers la lecture de développement de ces acceptions de la forme urbaine, en particulier à partir du 19^{ème} siècle, nous avons croisé les critiques des approches dans ce qui suit. Nous constatons que toutes les approches de la forme urbaine sont issues des logiques dominées par l'imaginaire (Choay : 1965 :75). Salat avance ainsi qu'à force de rationaliser la planification urbaine, l'urbanisme s'est disloqué sous le poids d'une prise en considération scalaire trop réduite ou trop large, chose qui a conduit à l'éclatement de la ville et à la déconnexion entre le global et le local (Salat : 2011 : 62-63). Cette déconnexion scalaire s'est renforcée surtout avec l'avènement du fonctionnalisme, qui a conduit vers la dissolution de l'îlot et a supprimé la rue (Castex et al : 1979), ce qui explique en bonne partie la crise de la ville contemporaine, à cause de la disparition de la forme et de la hiérarchie, dont l'îlot constituait « une articulation majeure ». (Salat : 2011 : 71). Cette déconnexion est encore plus repérable avec la notion de la « relativité d'échelle » développée par Laurent Nottale. Cette notion nous apprend que toute mesure est relative à l'échelle de résolution. Si l'on s'intéresse à la densité, une mesure prise sur un échantillon de 200m de côté nous donne une densité très forte de 12 à Hong Kong, alors que si l'on augmentait la taille du carré pour aller vers 800m de côté, la densité tombe jusqu'au 6. Cette relation entre les échelles a été formalisée par Salingaros (Salat : 2011 :66), par la conception de facteur d'échelle qui doit être compris entre 2 et 5. Une valeur inférieure à deux ne permet pas une connexion entre les échelles, alors qu'une valeur supérieure à 5 exprime une situation chaotique (Salat : 2011 :66). Pour libérer l'urbanisme d'une échelle pré-définie, Choay (1965) insiste et précise que c'est seulement au plan de l'usage que sera possible leur rapprochement (p.82), et que le recours à l'analyse structurale permettra de faire apparaître les trames communes des différents systèmes sémiologiques liés à l'agglomération urbaine. On

découvre alors que l'énergie en est un système parmi d'autres. Nous tâcherons, alors, dans les lignes qui suivent de visualiser le système de la forme urbaine sous l'optique de l'énergétique. Pour mieux comprendre la relation que tisse la forme urbaine avec la problématique de maîtrise de l'énergie, il nous est essentiel de revisiter la notion de l'énergie sous l'angle de l'usage, pour trouver les entrées possibles à travers la forme urbaine.

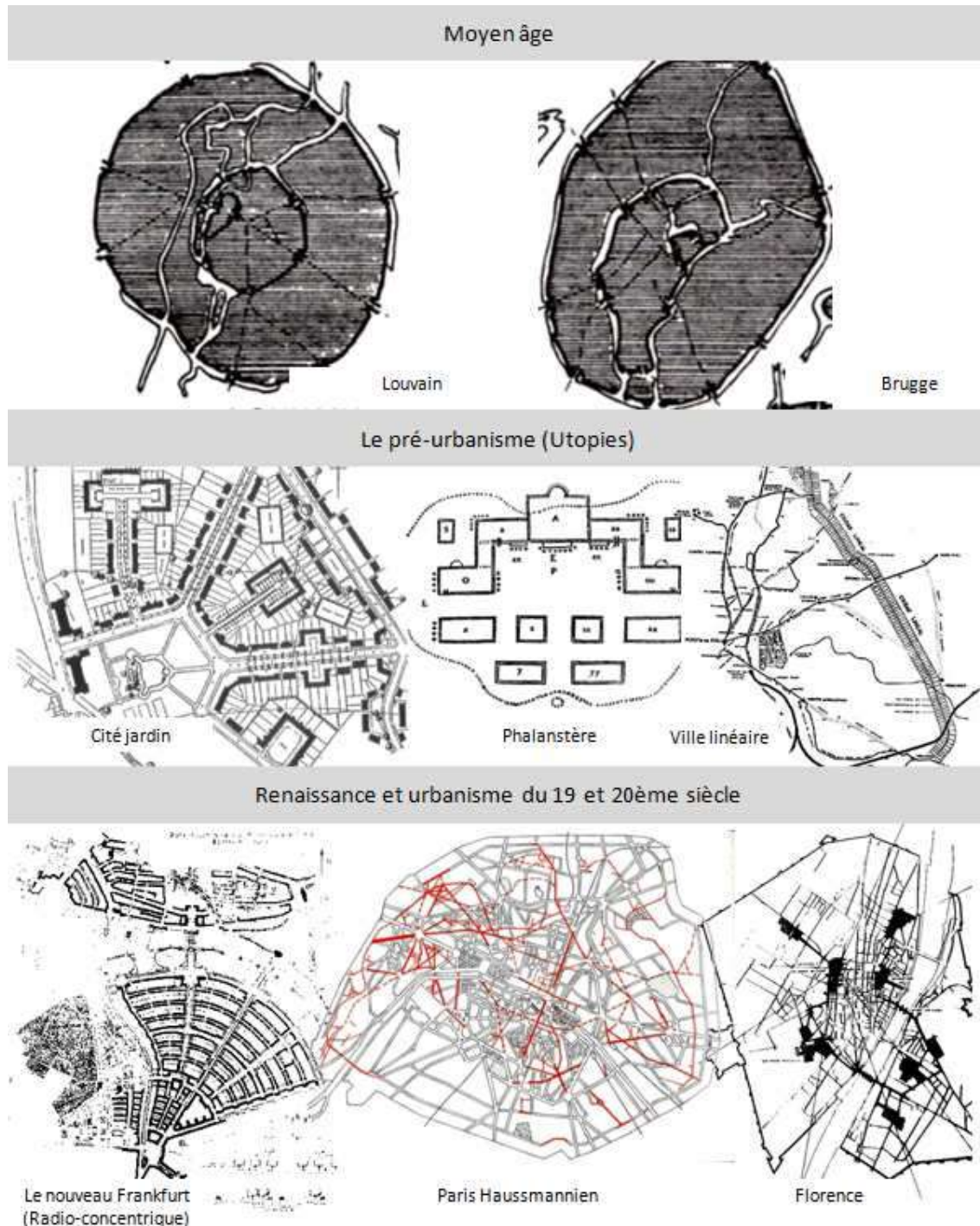


Fig 2- 1: Développement de la forme urbaine. Source : Auteur, à partir de : Benevolo (1995), Salat (2011) et Panerai et al (2009).

2.2. Forme urbaine comme matrice structurée et structurante des pratiques de consommation d'énergie

De l'examen de la littérature scientifique il ressort que la forme urbaine a un impact sur la demande énergétique à travers quatre registres : le registre de l'occupant, du bâtiment, des systèmes utilisés dans le bâtiment et enfin le contexte urbain, dont l'effet, d'après Baker et Steemers (2000) n'est pas encore fixé, voir figure ci-dessous.



Fig 2- 2 : Impact de la forme urbaine sur la performance énergétique. Source : Baker et Stemmers (2000)

L'approche de l'énergie à travers la forme urbaine comme entrée s'est trouvée différenciée méthodologiquement d'abord sur le point de vue spatial, en se rapportant à des échelles différentes de la forme urbaine, et puis d'un point de vue d'approche d'estimation, qui est parfois empirique, semi-empirique ou seulement modélisation et simulation. Sur la base de la littérature scientifique revue, dans les lignes qui suivent nous allons présenter la relation du couple forme urbaine / énergie. Mais pour commencer, il nous sera indispensable de passer par une série de définitions se rapportant à l'énergie, à l'efficacité, à l'efficacéité et à la maîtrise de l'énergie.

2.2.1. Définition de l'énergie

Etymologiquement, le concept de l'énergie est apparu vers le 16ème siècle et il désignait plutôt puissance d'action, efficacité et pouvoir (CNRTL : 2017³⁷). Ce n'est qu'avec les travaux de Newton, Descartes, Leibniz et Alembert portant sur la force, que Young Thomas s'est servi du mot « énergie » pour désigner la *vis viva* (la force vivante) de Leibniz. Il a fallu attendre 1855, pour que Rankin définisse l'énergie comme suit : *"The term 'energy' comprehends every state of a substance which constitutes the capacity for performing work. Quantities of energy are measured by the quantities of work which they constitute the means of performing"* (Trépanier : 2005 : 11). Cette définition a été reprise par tous les dictionnaires, même si le concept d'énergie s'est enrichi davantage avec l'apport de la théorie quantique et celle de relativité le long du vingtième siècle. Aujourd'hui, il est universellement reconnu que l'énergie se présente sous différentes formes et que son existence n'est révélée que par sa transformation et son transfert (Trépanier : 2005 : 2). L'efficacité, l'efficacéité et la maîtrise de l'énergie, comme la réduction des émissions de Gaz à effet de serre, ont été développées pour apprécier l'impact d'un système urbain (pays, ville ou bâtiment) sur l'environnement.

2.2.2. Efficacité, efficacéité, maîtrise et transition énergétique : précisions conceptuelles

On trouve souvent la notion d'efficacité énergétique, comme celle de l'efficacéité, utilisée pour désigner la même acception, qui consiste à réduire la demande énergétique pour effectuer un service à rendement identique. A travers la lecture croisée d'une bibliographie francophone et anglophone, nous nous sommes aperçu que les Anglais utilisent exclusivement le terme

³⁷ Centre national de ressources textuelles et lexicales, CNRTL : <http://www.cnrtl.fr>

« *efficiency* » qui signifie capacité de rendement ou performance, et que la confusion ne se pose qu'en langue française, entre efficacité et efficience. Mais si l'on suit nos lectures, l'effet de **l'efficacité énergétique** se traduit par une réduction en termes d'énergie du côté de la demande (Directive 2006/32/Ce³⁸). Et si l'on suit la définition du parlement européen de l'efficacité énergétique, elle se traduit comme « *le rapport entre les résultats, le service, la marchandise ou l'énergie que l'on obtient et l'énergie consacrée à cet effet : « amélioration de l'efficacité énergétique », un accroissement de l'efficacité énergétique dans les utilisations finales à la suite de modifications d'ordre technologique, comportemental et/ou économique* » (pp 4-5). Ceci nous renvoie à l'idée qui consiste à considérer l'amélioration de l'efficacité énergétique comme action tendant vers **l'efficience énergétique** qui, elle, se démarque par l'état d'efficacité maximale. L'efficacité énergétique peut se faire en phase d'étude en optimisant la conception ou le *process* s'il s'agit de l'industrie, ou après la réalisation en optimisant l'usage. Lovins, écologiste américain (2004), récipiendaire du prix Nobel alternatif et inventeur du Negawatt³⁹ en 1983, définit l'efficacité énergétique comme le fait de maximiser les services offerts par unité d'énergie consommée (p.384). Il nous renvoie à travers cette définition au concept de **l'intensité énergétique**, considérée aujourd'hui comme un des indicateurs permettant d'apprécier la vulnérabilité énergétique d'un pays. Et c'est à de cette définition que d'autres auteurs font aussi référence (Boulanger : 2007, APRUE : 2007).

La **maîtrise de l'énergie** serait alors l'ensemble des actions menées pour la mise en place des stratégies d'efficacité énergétique. La loi 99-09 portant sur la maîtrise de l'énergie définit en son article 2 la maîtrise de l'énergie comme « *l'ensemble des mesures et des actions mises en œuvre en vue de l'utilisation rationnelle de l'énergie, du développement des énergies renouvelables et de la réduction de l'impact du système énergétique sur l'environnement* ». En d'autres termes, la maîtrise de l'énergie s'intéresse à toutes les temporalités, en amont et en aval, à toutes les sources d'énergie, fossiles et renouvelables et au respect de l'environnement. Alors que la **transition énergétique**, concept en vogue depuis le Sommet de Rio 1992 (Jaglin et Verdeil : 2013), se définit comme des cibles-clés, ou instrument-clé (Rutherford et Coutard : 2014), avec un calendrier et des échéanciers à respecter. La transition énergétique en Algérie se fait graduellement avec une date butoir de 2030, pour atteindre une introduction des énergies renouvelable de l'ordre de 40%⁴⁰.

2.3. Forme urbaine et énergie, essai d'identification des rapports potentiels

Dans ce qui suit, nous identifierons les rapports potentiels entre les éléments de la forme urbaine et la demande énergétique. La figure ci-dessous, développé à partir de notre état des savoirs, nous permet d'approcher la synergie forme urbaine/énergie. Cette synergie se base sur deux volets : la forme urbaine comme volet statique et l'occupant comme élément dynamique. La forme urbaine est

³⁸ Parlement Européen Et Du Conseil, (2006), Directive 2006/32/Ce relative à l'efficacité énergétique dans les utilisations finales et aux services énergétiques et abrogeant la directive 93/76/CEE du Conseil, France.

³⁹ Negawatt (saved watts) désigne les énergies (ou puissances) économisées suite à l'amélioration d'une technologie ou de comportement. Développé par Lovins comme critère de compétitivité. Lovins, A. B. (1990). *The negawatt revolution. Across the Board*, 27(9), 18-23.

⁴⁰ Dans une interview accordée à la télévision nationale, le 12/12/17, le Ministre des affaires étrangères, M. Messahel, et lors de la mini COP tenue à Paris « One Planet Summit », a avancé le chiffre de 27% au lieu de 40%.

composée par : (i) La morphologie structurale (infrastructure technique) ; (ii) La morphologie du tissu urbain avec ces 4 systèmes (le parcellaire, le bâti, l'espace libre et le viaire) ; (iii) et La morphologie fonctionnelle portant sur la répartition des fonctions. L'occupant quant à lui se trouve alors conditionné à la fois par ces composantes de la forme urbaine, mais aussi par son mode de vie et par ses propres caractéristiques socio-économiques. L'interaction entre la forme urbaine et l'occupant passe par un ensemble de pratiques consommatrices de l'énergie.

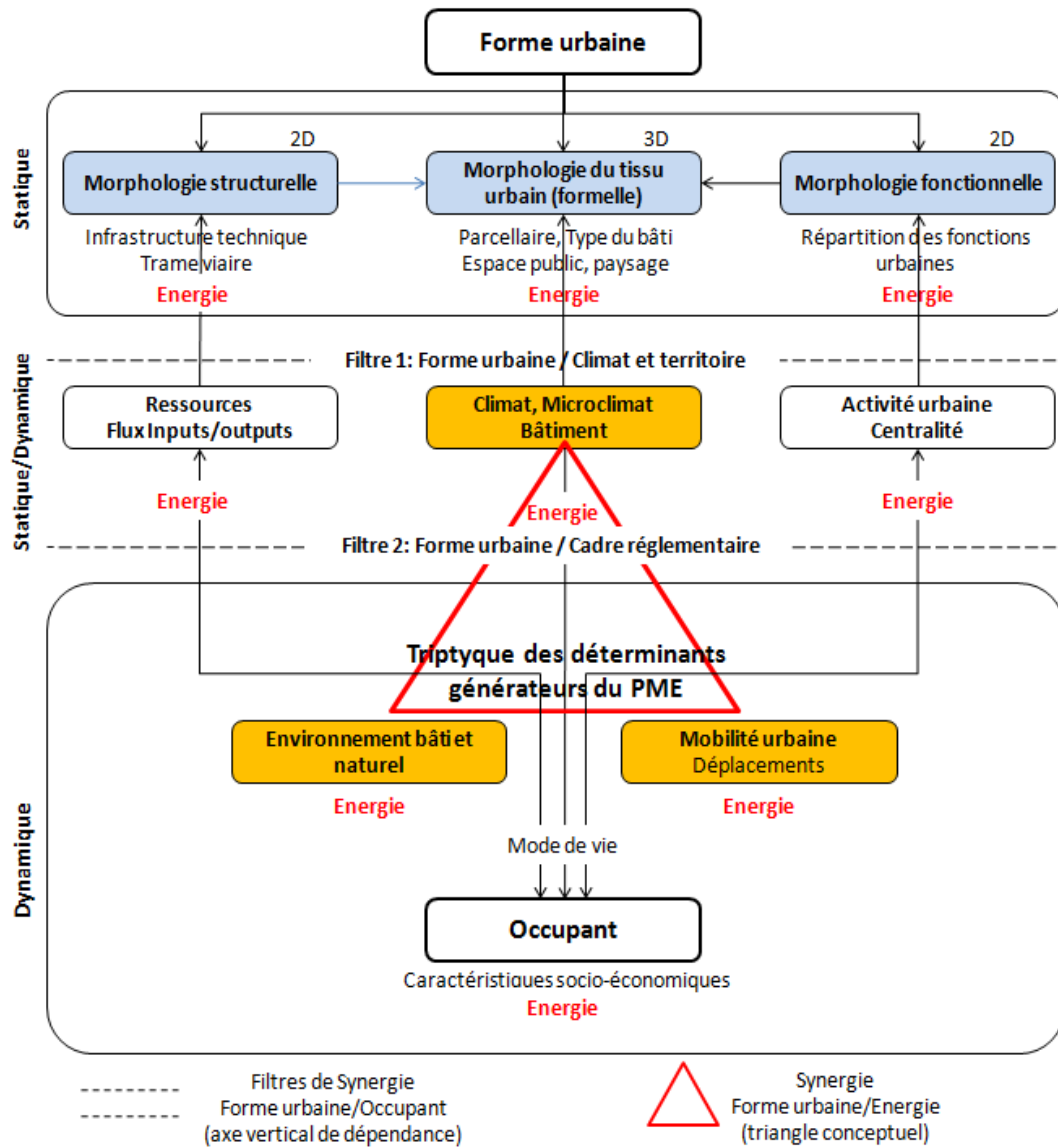


Fig 2- 3: Différents domaines d'interaction entre la forme urbaine (contenant statique) et l'Occupant (contenant dynamique) déterminant l'usage de l'énergie en milieu urbain. Source : Auteur & Berezowska-Azzag.

Pour identifier l'impact de la forme urbaine sur les pratiques de consommation d'énergie, nous présenterons dans la section suivante, la synergie forme urbaine/énergie en considérant l'échelle du bâti, l'échelle urbaine, l'échelle de l'occupant, le cadre réglementaire et enfin la mobilité.

2.3.1. Environnement bâti et énergie :

L'environnement bâti se déploie en deux échelles physiques, celle du bâtiment considéré individuellement et celle urbaine comprenant un ensemble de bâtiments agencés selon un ensemble de règles.

2.3.1.1. Echelle du bâtiment

a. Compacité

La forme du bâtiment a une influence directe sur la demande énergétique d'un bâtiment. Des travaux de recherche ont démontré que plus la compacité (V/S^{41}) d'un volume est élevée, moindres seront les déperditions thermiques et inversement pour le coefficient de compacité (S/V) et $(S/V^{2/3})^{42}$, qui, selon Salat, doit avoir la valeur la plus basse et être utilisé avec précaution, car un faible coefficient de compacité dans des zones climatiques arides, par exemple, n'est pas préconisé (Salat : 2011). Effectivement, dans un étage climatique pareil, l'utilisation des patios est très recommandées, ce qui augmenterait la valeur de la compacité mais pour se protéger contre l'ensablement et le rayonnement solaire provenant de la façade donnant sur la rue, et pour des raisons d'intimité, les ouvertures sont orientées vers l'intérieur du patio et reçoivent le minimum du rayonnement solaire. Le rendement de ce même patio, appelé « chebek » en zone aride, a été testé et validé par plusieurs recherches (Salat : 2011 : 174) en climat tempéré froid et dans un climat aride (Fezzioui et al : 2016), et il a été constaté que l'efficacité des patios porte essentiellement sur l'amélioration de la ventilation nocturne par effet de tirage.

Aussi, le coefficient de compacité d'un bâtiment considéré dans son environnement urbain peut être davantage réduit grâce à la « surface de contact » due à la mitoyenneté avec les bâtiments voisins ce qui réduit la surface d'échange avec l'environnement extérieur.

La compacité peut être considérée à l'échelle d'un bâtiment comme à l'échelle urbaine, et même à l'échelle de l'agglomération (Salat et Nowacki : 2010). Mais, la compacité considérée à l'échelle de l'agglomération trouve son essence dans le fait qu'elle s'oppose à l'étalement et à la fragmentation des villes car une ville peu compacte crée des poches isolées (idem).

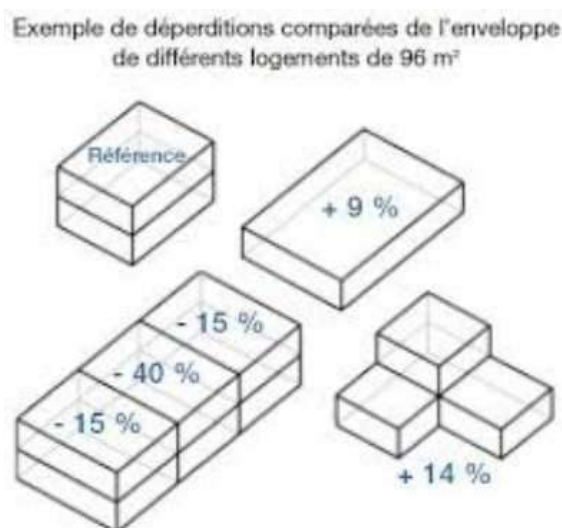


Fig 2- 4: Exemple de déperditions thermiques comparées de l'enveloppe de différents logements de 96 m².

⁴¹ Appelée aussi *volume surfacique* (m), et ce rapport concerne la partie du bâtiment qui est ventilée et éclairée naturellement (S.Salat : 2011).

⁴² $V^{2/3}$ permet de supprimer le facteur taille et donner des valeurs plus représentatives du coefficient de compacité (S.Salat : 2011 : 187)

b. Volume passif

Le volume passif est un indicateur qui permet d'estimer la partie du bâtiment qui peut potentiellement être ventilée, ensoleillée (chauffée) et éclairée naturellement (Salat : 2011). D'une façon générale sa valeur est estimée à deux fois la hauteur du bâtiment considéré ce qui donne souvent une valeur de 6 mètres. Un taux de volume passif par rapport au volume total à Berlin par exemple est de 61%, 77% à Londres et 84% à Toulouse (Idem : 184-185).

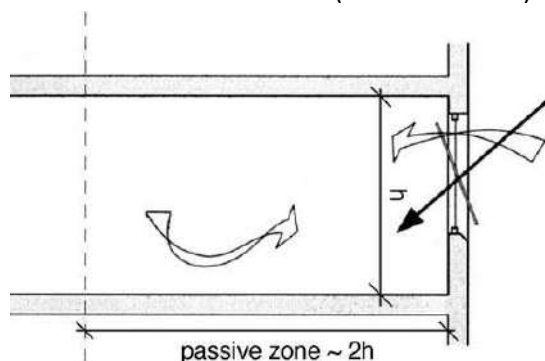


Fig 2- 5: Le volume passif. Ratti et al (2005)

c. Enveloppe du bâtiment

La qualité de l'enveloppe des bâtiments joue un rôle très important dans la performance énergétique des bâtiments considérés et se décline sur deux volets : la paroi opaque et la paroi vitrée. Le DTR algérien C3-2 (1997) qui n'a pas changé depuis, requiert un coefficient U de $1.51 \text{ w/m}^2.\text{K}$ d'un mur en double paroi avec une lame d'air de 30 cm (et une résistance de $0.66 \text{ m}^2\text{k/w}$), alors que le document « guide » réalisé en partenariat entre l'APRUE et GIZ (MATEV : 2014) recommande un coefficient compris entre 0.25 et 0.5 soit une résistance de 2 à $4 \text{ m}^2.\text{k/w}$. La réalité du terrain est cependant dans la plupart des cas loin des deux recommandations à cause des malfaçons et la non-propreté de la lame d'air.

Les fenêtres en Algérie sont pour la plupart constituées de fenêtre « simple vitrage » à faible résistance, dont le U_w dépasse la valeur $5 \text{ w/m}^2.\text{K}$, loin de ce qui se passe dans le monde développé où le coefficient U_w des fenêtres est obligatoirement celui de double vitrage et bien inférieur à $3 \text{ w/m}^2.\text{K}$.

Souvent dans les études portant à l'échelle de la ville voire du territoire, la qualité de l'enveloppe est représentée par le croisement de l'année de construction avec la réglementation thermique, ce qui peut indiquer la qualité de l'enveloppe (Singh et al : 2013). La qualité du vitrage et le taux de vitrage sont souvent considérées comme indicateurs dans les études portant sur la performance énergétique du bâtiment et celle de l'urbain (Ratti et al : 2005).

2.3.1.2. Echelle urbaine

On entend par échelle urbaine tout agencement d'un ensemble de bâtiment pour former un îlot, un quartier ou une ville. La composition urbaine considérée selon sa structure viaire, son implantation, son orientation, sa densité bâtie et végétale et même sa localisation, impacte d'une façon directe ou indirecte les performances, comme celles de consommation énergétique. Dans cette section, nous

aborderons la question par phénomène impactant la demande énergétique, la ventilation urbaine, l'ensoleillement et le microclimat comme interface. Chaque registre sera détaillé de la sorte que les éléments de la forme urbaine contrôlant tel ou tel phénomène seront mis en exergue.

a. Ensoleillement

L'apport du rayonnement solaire a fait l'objet de plusieurs recommandations, les auteurs proposant l'orientation optimale n'avaient pas toujours les mêmes conclusions. Scientifiquement, le rôle de l'ensoleillement n'est devenu objet d'étude scientifique que vers la fin du 19^{ème} siècle par les premiers travaux des médecins hygiénistes qui ont mis en exergue le rôle bactéricide des rayons solaires dans la ville de Vienne en 19^{ème} siècle, en comparant le nombre de morts dus au choléra selon l'orientation des façades (A.Harzallah : 2007 : 49). L'étude de la relation entre la forme urbaine et la qualité de l'ensoleillement propice a connu son développement le long des vingt derniers siècles, mais l'élan rigoureux des auteurs ne s'est accentué qu'à partir du milieu de 19^{ème} et 20^{ème} siècle où tous les travaux se présentent comme « un remède de la ville industrielle » (Siret : 2013). La présentation, une à une, des différentes théories de l'orientation nous renvoie l'image d'un kaléidoscope, vu que toutes les directions, à l'exception du Nord, ont trouvé des partisans (A.Harzallah : 2007). Nous n'allons pas les représenter toutes, *hic et nunc*, mais nous renvoyons tout lecteur, désireux de retracer le développement des théories de l'ensoleillement pour les deux derniers siècles, vers les travaux de thèse de Harzallah (2007) et de Montavon (2010), dans lesquels un développement historique détaillé est fourni. Par contre, il nous est indispensable de reprendre les grandes lignes directrices, car chacune nous renvoie encore à un des éléments de la forme urbaine et qui ont été découverts à travers l'enchaînement des travaux.

Tout au début, l'ensoleillement n'a été considéré qu'à l'échelle du bâtiment et l'orientation Est s'est révélée importante au début et sous l'inspiration d'Hippocrate et Vitruve. Cette orientation se base sur la santé comme critère car, comme le mentionne Vitruve, une orientation plein Sud peut provoquer un changement soudain de température et on passe d'une ambiance trop chaude à une autre plus froide en un laps de temps court, ce qui pourrait nuire à la santé (Harzallah : 2007, Montavon : 2010).

L'orientation des bâtiments vers le Midi ou le Sud remonte dans le temps à l'orientation préférée donnée aux bains par Vitruve, Socrate et le professeur hygiéniste Bernhard Faust (1824). Les auteurs prônant cette orientation se basent sur des appuis scientifiques grâce au « *traitement mathématique de Von Camerloher en 1829 suivi par une vulgarisation mathématique et physique de Knauff de Heidelberg au même siècle en donnant la quantité de calories reçue par les façade Est et Ouest ensemble, Sud et Nord durant le Solstice d'été, d'hiver et pendant l'équinoxe* » (Harzallah : 2007). Grâce à cette avancée, l'ensoleillement sera considéré comme lumière et aussi comme quantité de chaleur diffusée dans le bâtiment et qui est relative aux saisons. Sur la base de ces conclusions beaucoup d'architectes ont préconisé cette orientation, notamment Leonce Reynaud (1803-1880) et Tony Garnier (1869-1948), et ont lié la fonction des espaces à la qualité de l'ensoleillement qui leur semblaient la plus avantageuse en termes de lumière et de quantité de chaleur (Harzallah : 2007). Faust (1824) ajoute, au gré de l'orientation Sud, les considérations d'ordre psychologique ou moral, ainsi que celle du confort (Idem). Et en contrepartie, l'orientation Nord est déconseillée par les

médecins du même siècle, car ils arguent que dans ces espaces, il y fait froid, et que cela génère de la fatigue et de la mélancolie (Montovan : 2010 : 14).

En considérant l'échelle urbaine comme réponse à la cité industrielle, une série de propositions prônant différentes orientations à donner aux voies apparaît. Il y a principalement trois orientations axiales, Nord-Sud, Est-Ouest et diagonales. L'orientation des voies selon l'axe méridien a été considérée par plusieurs protagonistes comme l'orientation idéale, car, comme l'a bien signalé l'architecte Provensal (1908, cité par Harzallah : 2007), à travers l'analyse de la trajectoire du soleil il serait bien préférable de chercher les rayons solaires presque horizontaux provenant des orientations Est et Ouest, qu'il est plus facile d'exploiter par des murs verticaux que ceux orientés Sud (Harzallah : 2007 : 61, Montavon : 2010 : 17). Mais selon les chercheurs, Provensal avait oublié les masques solaires provenant des bâtiments voisins et que William Atkinson, au début du 20^{ème} siècle, avait bien repris dans ces recherches à travers les courbes représentant la durée d'ensoleillement résultant des différents profils et orientations, ainsi que pour la périodes des solstice et équinoxe (*Idem*).

L'orientation selon l'axe de l'équateur des rues a aussi fait l'objet de prescription notamment par Charles Bardes (1891), Proust (1902) et Andre Hermant (1943), qui prescrivent cette orientation en s'appuyant sur l'avantage thermique d'une orientation Nord-Sud du bâtiment, tout en considérant l'orientation Nord comme avantageuse si l'on cherche une lumière constante sans rayonnement solaire et pour laquelle des fonctions adéquates lui seront affectées (Harzallah : 2007 : 68, Montavon : 2010 : 18). Dans la même lignée, l'architecte français Leroux en 1951 spécifie que cette orientation est d'autant plus recommandée aux climats chauds. Il ajoute que l'insalubrité n'est pas due au manque d'ensoleillement mais à l'humidité et qu'un espace sec et chauffé en hiver reste habitable même orienté au Nord (Harzallah : 2007 : 69).

Comme solution intermédiaire entre une orientation purement méridienne ou équatoriale, d'autres spécialistes ont préconisé une orientation diagonale. Selon Montavon et Harzallah, les protagonistes de cette prescription, comme Clement en 1987, Proust en 1902, Provensal en 1908 et Jules Courmont en 1925, s'appuient sur deux arguments : une répartition meilleure de l'ensoleillement sur toutes les façades et la possibilité d'éviter toute orientation directe vers le Nord (Harzallah : 2007 : 70, Montavon : 2007 : 18). D'autres orientations ont été proposées pour maximiser l'accès solaire dans le milieu urbain à travers une déviation de l'axe Nord-Sud vers l'est comme à l'ouest, selon des degrés différents dépendant de la latitude du lieu. D'après les chercheurs, Dr Clément précise que pour une latitude de 30°, la déviation idéale serait comprise entre 15° et 20°, alors que pour Robert De Souza, en 1908, la déviation idéale pour une ville comme Barcelone serait comprise entre 15° et 35° pour des rues de 20m, pour avoir une durée d'insolation dépassant les 3 heures. Tandis que pour Marboutin la déviation idéale serait entre 60 et 70° pour que les rues tracent ainsi un damier losangé (*Idem*).

Une orientation particulière a été prônée par Adolphe-Augustin Rey dès 1905, portant le nom d' « *axe héliothermique* », cette orientation se base sur le constat que la température maximale n'est atteinte que vers 14h, alors que le soleil n'atteint sa hauteur maximale que vers midi. Une orientation déviée de 19° (voire 20°) pour une ville comme Paris pourrait alors assurer une

répartition égale de la température entre les deux façades du bâtiment. Le Corbusier diffusera la théorie de Rey en la définissant comme « *l'armature du tracé urbain* » (Harzallah : 2007 : 82) et en l'utilisant comme armature dans sa Cité radieuse en 1935. Mais ce n'est qu'à travers l'unité d'habitation de Marseille qu'il a, dans un premier temps, préconisé une orientation héliothermique en 1945, abandonnée lors de la réalisation en 1947 au gré de l'orientation Est-Ouest. Harzallah (2007) explique ce changement par le fait que la tuberculose fut traitée efficacement par la pénicilline découverte dans les années 1920 et dont l'usage fut abondant dès les années 1940. Le Corbusier a eu la réflexion d'utiliser des dispositifs « loggia brise-soleil » dans son unité d'habitation pour « juguler » le rayonnement solaire en période d'été, mais sans trop d'efficacité car les façades de l'unité sont orientées Est-Ouest (Siret et Harzallah: 2006). Cette orientation fut critiquée par Gaston Bardet dès les années 1940 et qualifiée comme « vide de sens » sans donner des appuis scientifiquement rigoureux. D'autres auteurs l'ont accepté « prudemment » en la reconnaissant tout en relativisant son impact. Pour vérifier sa faisabilité, Harzallah *et al* (2005), ont démontré par des simulations sous Solene que l'axe héliothermique ne représente point une répartition égale de l'insolation et que la seule orientation permettant une répartition égale de la température est l'orientation parfaite des façades Est-Ouest.

Comme suite logique au développement des études portant sur l'ensoleillement, les architectes ont proposé des formes urbaines pour améliorer l'ensoleillement, un des aspects du courant hygiéniste. On trouve la proposition de la Cité radieuse de Le Corbusier, les cités jardins d'Unwin, les bâtiments en gradin de Borrie, d'Henri Sauvage et de Le Corbusier avec sa proposition à Oued Ouchaiah en Algérie dans les années 1930. Jusqu'à nos jours, la question de la synergie forme urbaine et ensoleillement est toujours posée, certaines études comme celle de Montavon (2010) ont prouvé qu'il est possible d'atteindre un potentiel d'ensoleillement intéressant avec des densités élevées. Ou d'autres travaux comme celui de Harzallah (2007) qui a vérifié, simulation à l'appui, la non-utilité de certaines théories du début du siècle dernier, comme celle de Le Corbusier ou celle de Rey. Aujourd'hui, l'intérêt des recherches porte sur une description détaillée de l'impact de la forme urbaine sur le phénomène de l'ensoleillement, en d'autres termes, la recherche porte la performance solaire des formes urbaines.

Depuis le développement des traitements mathématiques et physiques du phénomène d'ensoleillement, les auteurs n'ont cessé de mettre en œuvre des outils et méthodes pour apprécier l'ensoleillement et le contrôler. Les études revues, sans prétendre à l'exhaustif, nous ont permis d'identifier un penchant morphométrique tendant vers une caractérisation morphologique de la forme urbaine sous forme d'indicateurs en les liants au phénomène d'ensoleillement. On en peut citer par exemple l'orientation, le prospect et l'ouverture au ciel (*Sky View Factor SVF*), qui sont utilisés pour décrire les rues, la densité (COS et CES) et la compacité qui sont utilisés pour décrire l'implantation sur site et l'élévation horizontale de la forme urbaine. Dans ce qui suit de notre revue de la littérature, nous considérerons la grille de lecture comprenant la méthode utilisée, l'indicateur analysé et enfin la règle(s) qui découle de l'étude, ainsi que l'étage climatique. La plupart des études revues sont conduites soit en modélisation sous Matlab ou autre logiciel permettant une modélisation orientée vers l'objectif recherché par les auteurs, soit une utilisation directe des logiciels de simulation qui sont spécialisées dans les études d'ensoleillement, tel que Townscope,

Suntool, Solene ou PPF, ou en énergétique tel que Ecotect ou Pleaide. L'organisation des études s'est faite par type d'indicateur utilisé.

Prospect

Tout au début, c'est à travers les travaux d'Atkinson que le rapport Hauteur / Largeur de la rue a été mis en évidence comme ratio affectant le rayonnement solaire. Le prospect se présente comme le rapport de la hauteur à la largeur de la rue. Beaucoup de travaux ont mis en exergue le rôle du prospect dans le contrôle solaire et sous différentes latitudes et orientations. Nous ne citerons qu'à titre indicatif que quelques travaux. Bourbia et Awbi (2004) ont démontré sous la latitude 33° et pour des canyons sous un climat aride, que plus le Ratio H/L augmente plus il y aura des plages d'ombre dans le canyon ; que la température de l'air varie faiblement sous différents profils de prospect alors que la température des surfaces du canyon dépend sensiblement de la géométrie du canyon et de l'ouverture au ciel.

Dans un autre article, Bourbia et Boucheriba (2010) ont exploré la variation du profil du prospect dans la zone semi-aride (Constantine), ont confirmé les conclusions citées *supra* et évoquent en plus une différence de température entre 3 et 6° entre la température de l'air du canyon et la température du milieu rural environnant. Cette élévation de la température est expliquée par les auteurs par l'asphalte et les matériaux recouvrant le sol, qui provoquent des surchauffes accentuées par l'absence de la végétation.

Il ressort de ces études que le prospect impacte directement la température de surface de l'enveloppe de canyon, mais la température de l'air varie faiblement. Aussi, en plus du prospect, l'ouverture au ciel serait un indicateur à prendre en considération dans la planification urbaine. C'est un indice représentant l'ouverture au ciel à partir d'une hauteur donnée du sol. A la différence du prospect, l'ouverture au ciel prend en considération tous les obstacles (végétation, mobilier urbain) pouvant bloquer le rayonnement solaire.

Ouverture au ciel (SVF)

L'ouverture au ciel est un indice souvent utilisé avec le prospect dans les études microclimatiques. Svensson (2004) en Suède, et par des mesures *in-situ*, a mis en exergue la relation linéaire existante entre l'ouverture au ciel et la température de l'air. L'indice d'ouverture au ciel a été calculé à partir du niveau du sol et à partir de 2 mètres du sol et la relation linéaire s'est révélée significative pour les deux niveaux de calcul de l'indice. Mais la relation la plus forte (entre 0.5 et 0.7 de R^2) a été obtenue avec l'indice considéré au niveau du sol. Eliasson (1996) et Upmanis (1999) ont cependant relativisé l'importance du niveau considéré pour le calcul de l'indice d'ouverture au ciel.

Densité de la forme urbaine

L'impact de la densité de la forme urbaine sur le potentiel solaire a été étudié par plusieurs chercheurs. Cheng et al (2006) par exemple, en utilisant le logiciel PPF, ont développés 18 modèles génériques sur la base des variations paramétriques de l'emprise au sol, de la densité exprimée en COS. Cette variation est obtenue par modification en termes de hauteur et de volume, ainsi que d'implantation. Il en ressort de cette étude qu'une implantation aléatoire ou en quinconce des volumes (*randomness*) permet d'avoir des variations d'ouverture au ciel (SVF) ce qui permet

d'améliorer le potentiel solaire beaucoup plus pour les tissus à hauteurs importante que pour les petits gabarits. Aussi, les auteurs soulignent que la densité élevée et l'accès solaire ne sont pas mutuellement exclusifs, et qu'il est possible d'avoir un potentiel solaire intéressant avec des densités élevées si l'on dose proportionnellement une variation « aléatoire » considérée sur le plan horizontal (implantation en quinconce) et sur le plan vertical pour éviter l'effet de masque (Voir figure ci-dessous). Cette solution proposée par les auteurs est bénéfique pour le potentiel solaire, mais crée des problèmes de fonctionnement au sol ainsi qu'une variation importante dans la connectivité du système viaire que nous évoquerons plus en détail dans la section « Energie et mobilité » du même chapitre.

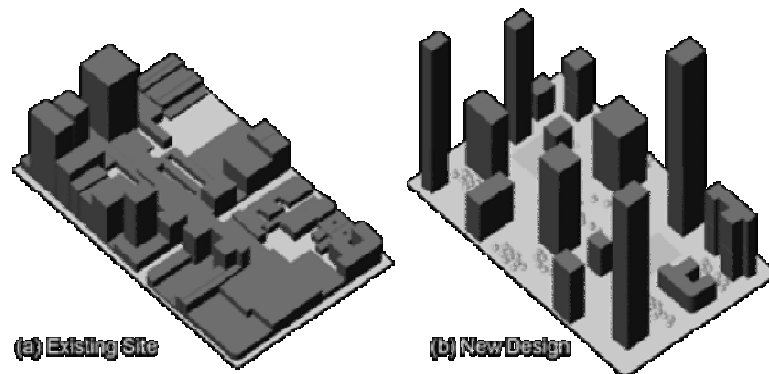


Fig 2- 6: Exemple d'une recomposition de la même densité. Cheng et al (2006 : 6)

Montavon (2010), à son tour, a proposé quatre formes urbaines génériques dans un site urbain réel (district Mattaheus). Ces formes génériques se différencient entre elles par l'implantation au sol, l'orientation et l'agencement entre des différents volumes. Elle en a proposé notamment une forme en dalle, en terrasses, en bloc à cours et enfin le pavillonnaire. L'évaluation de l'efficacité solaire des formes générique s'est faite selon la formule suivante :

Efficacité solaire = Irradiation annuelle (kWh)/irradiation par unité de surface extérieure (kWh/m².an)*surface du site (Montavon : 2010 : 105).

Selon les résultats des simulations sous PPF et en appliquant la formule citée *supra*, les formes urbaines sont classées selon leur potentiel solaire comme suit : le type « bloc à cours », suivi par le type « dalle » puis « terrasse » et enfin le type pavillonnaire. Montavon ajoute qu'en plus du meilleur potentiel solaire de la forme « bloc » ou l'îlot fermé, cette même variante de forme urbaine présente une intégration meilleure que ce soit sur le plan architectural, urbain et fonctionnel.

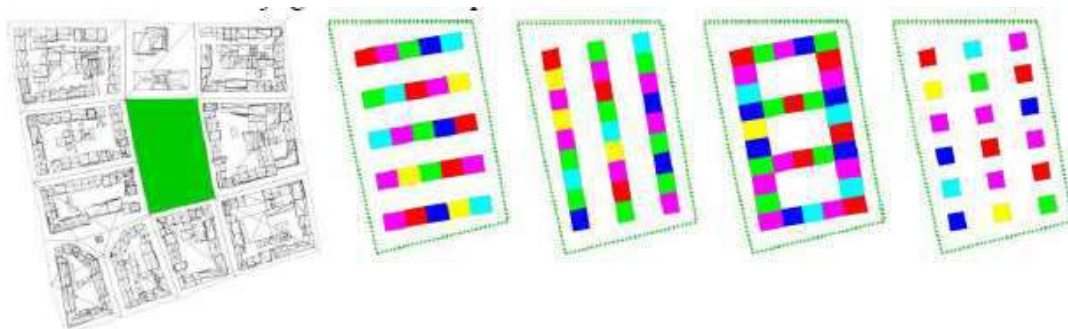


Fig 2- 7: Type d'îlots considérés dans la simulation de gauche à droite : le type Terrasse, Dalle, Ilots à cours, et Pavillonnaire. Source : Montavon (2010)

Montavon (2010) précise à travers cette étude que la forme urbaine « dense » n'exclut pas un potentiel solaire satisfaisant. Salat (2011) est arrivé à la même conclusion, en appliquant la formule de l'admittance solaire rapportée à la surface du site.

Admittance solaire

Elle permet d'apprécier l'accès solaire et se définit comme la somme des surfaces des façades d'un bâtiment ou d'un fragment urbain pondérée par des coefficients d'orientation et de prospect, rapportée à la somme de la surface totale des façades. Voir la formule ci-dessous (Salat : 2011 : 203) :

$$As = \frac{\sum F_i C_i S_i}{\sum S_i}$$

Où F_i est le coefficient de prospect, C_i : coefficient d'orientation et S_i la surface des façades.

Selon le même auteur, ce facteur peut être rapporté à la surface habitable (*Ibidem*). Salat (2011) a fait une comparaison de l'admittance solaire en comparant 4 types de tissus : Paris Haussmannien (0.42), Redent de Le Corbusier (0.38), Alvéoles (0.38) et Gratte-ciel (0.36). Il en ressort de cette étude que l'îlot haussmannien est bien meilleur en terme d'accès solaire, ceci révèle que l'organisation au sol des bâtiments et leur orientation joue un rôle important dans l'amélioration de l'accès solaire (*Ibidem*). En admettant le calcul de l'admittance solaire rapporté au m² habitable en revanche, Salat (2011) est arrivé au mêmes ordre de classement que Montavon (2010), l'îlot haussmannien présente une admittance solaire de 0.19 et se classe avant les gratte-ciels (0.21) de Le Corbusier (Salat : 2011 : 203).

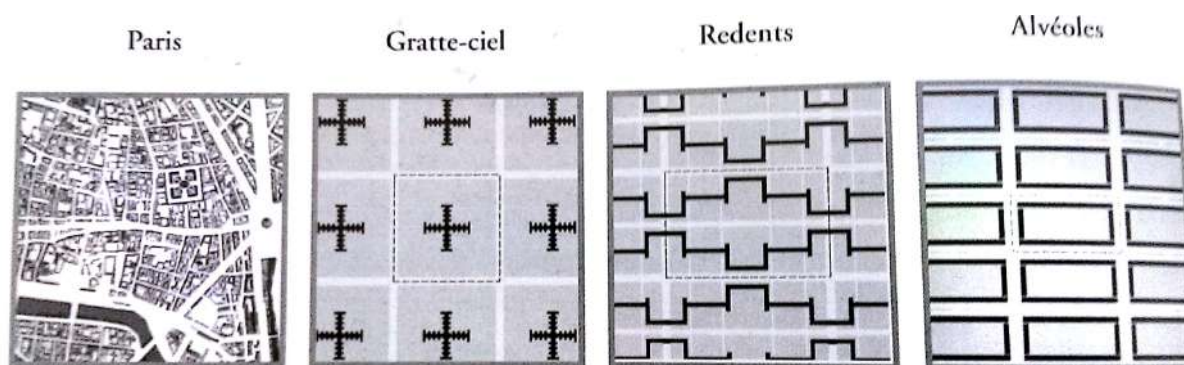


Fig 2- 8 : Les types d'îlots utilisés pour l'admittance solaire. Source : Salat (2011 : 198).

La problématique portant sur la meilleure orientation a été traitée par Kämpf et Robinson (2008) sous modélisation numérique utilisant Algorithmes Evolutionnaires (AE) et via le logiciel LESO-SUNtool (*LESO Sustainable Urban Neighbourhood modelling tool*). L'optimisation paramétrique s'est basée sur la sensibilité des points de mesure mis sur les faces des bâtiments pour des orientations différentes. 12 000 simulations ont été réalisées pour arriver à la meilleure forme urbaine ayant le potentiel solaire le plus important (voir figure ci-dessous). L'orientation des volumes principaux est Nord-Sud, suivie de blocs orientés Est-Ouest de plus faible dimensions.

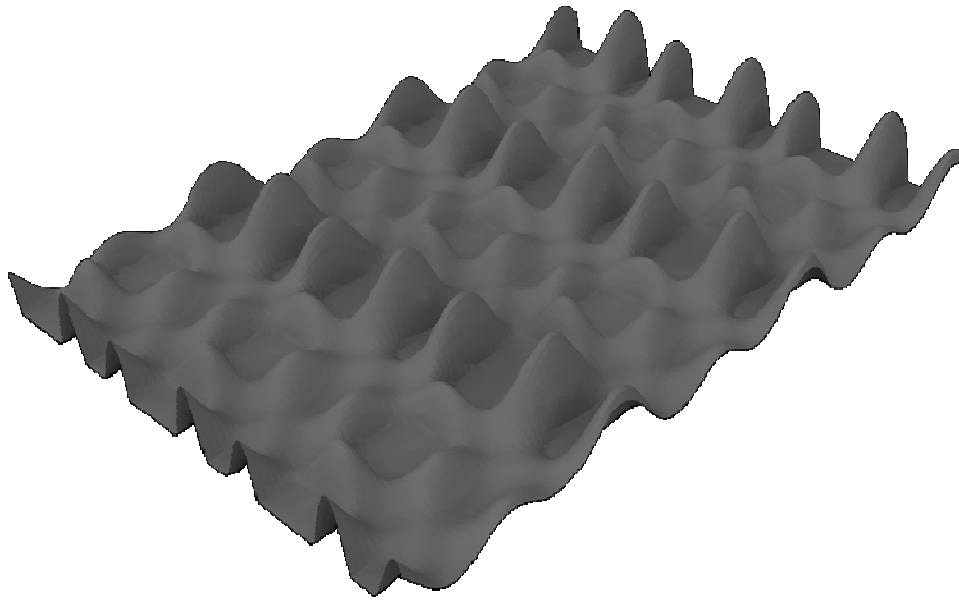


Fig 2- 9 : Image synthétique générée par le logiciel RADIANCE du meilleur cas après 12 000 évaluations de formes différentes. (Kämpf et Robinson : 2008 : 5)

Aussi, Harzallah (2007) et Montavon (2010) ont vérifié via des simulations la non-faisabilité de l'hypothèse de l'axe héliothermique. La répartition égale de température n'est obtenue qu'à partir d'une orientation parfaite selon l'axe Nord-Sud, soit une orientation parfaite des façades des bâtiments vers l'Est et l'Ouest.

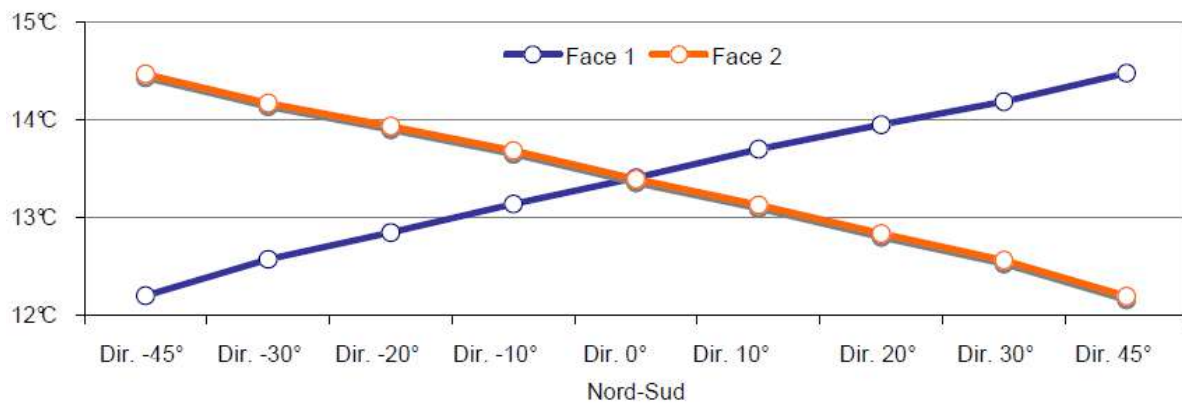


Fig 2- 10 : Variation de la température de surface moyenne sur les façades Est et Ouest avec une orientation axiale Nord-Sud. Source : Harzallah : (2007 : 231).

Autres recherches et indicateurs

Sur la base des simulations, d'autres chercheurs ont développé des indicateurs pour apprécier le potentiel solaire de la forme urbaine en question. En effet, Cherqui (2005) dans sa thèse a développé une batterie d'indicateurs comme la réceptivité des façades ou la réceptivité du plan de masse. Ratti et al (2003) ont utilisé le terme « *texture* » pour introduire la forme urbaine à configuration tridimensionnelle dans un langage développé sous Matlab portant le nom de *Digital Elevation Model* (DEM). La méthode DEM, est une méthode qui se base sur des représentations bidimensionnelles. Une image ou un plan de masse est introduit au logiciel Matlab et en utilisant son module de traitement d'image, la troisième dimension est introduite comme donnée. La représentation reste en

2D et elle se fait par des nuances de couleur. Tous les indicateurs sont alors présentés en image 2D, pour pouvoir évaluer le potentiel solaire directement sur plan (Voir l'image ci-dessous).

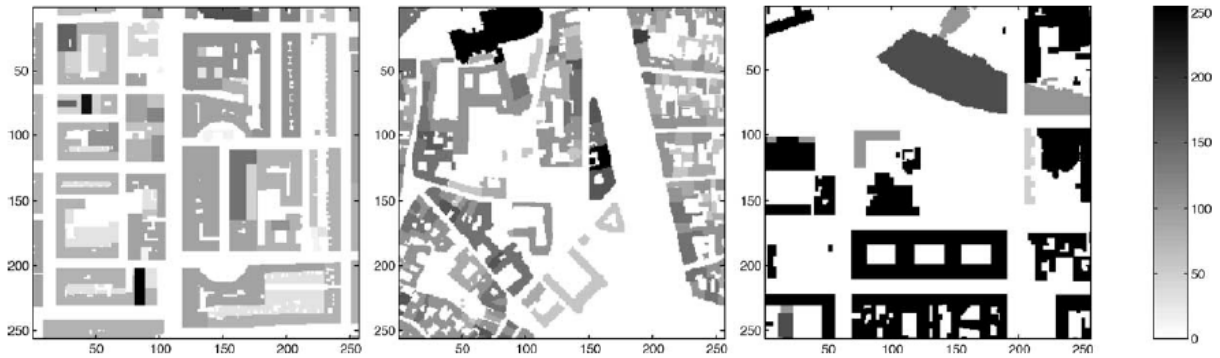


Fig 2- 11 : Exemple d'un modèle DEM. Source : Ratti et al (2003).

De l'ensoleillement à l'ordre urbain solaire

Dans un article paru dans la revue *Développement durable et territoire*, Daniel Siret (2013) reprend le développement de l'introduction du phénomène solaire dans la théorie architecturale et urbaine, en évoquant trois grandes phases d'évolution dépendant principalement du progrès scientifique. Tout d'abord, c'est une période de reconnaissance sanitaire du solaire menant jusqu'à l'exaltation de ce dernier et son introduction dans l'espace privé et public en raison de sa vertu microbicide ou bactéricide, qui s'est révélée efficace contre le choléra et la tuberculose. Ainsi, le solaire est devenu le paradigme de l'ordre solaire et un signe d'avancée et d'ascension sociale affichée dans les différents espaces. Le soleil donc était un objet d'héliotropisme, pour l'architecture comme pour l'urbain, et sujet de rapprochement avec le corps. Mais les années 1980 introduisent la deuxième phase d'acception du solaire comme un phénomène à risque, après les découvertes indiquant qu'une exposition irrationnelle au soleil pouvait se développer en des cancers cutanés. Ainsi le solaire objet d'enchantement est devenu objet de distanciation et de limitation avec le corps. Siret observe ensuite que la troisième phase a été enchevêtrée avec la deuxième phase, car le choc pétrolier des années 1970 a éveillé les consciences pour les rendre écologiquement engagées avec un portage politique. C'est ainsi que les énergies renouvelables commencent à prendre de la place dans la sphère des solutions dites durables. Les acteurs de la politique se sont vite rendu compte qu'une mercantilisation massive du solaire pourrait rendre plus accessible le renouvelable, et le solaire en particulier. Ce n'est cependant qu'au début des années 1990 que le marché « occidental » s'est ouvert aux privés. Le particulier peut aujourd'hui, à travers le toit de sa demeure, produire l'énergie solaire via les capteurs PV et les vendre au réseau national (français) ou local⁴³. C'est ainsi que le solaire a pris sa troisième caractéristique, désormais le solaire est privé et monnayable. Cette description succincte du développement du solaire met en exergue les textures scientifiques sans doute, mais aussi culturelle, sociale et politique.

En conclusion de cette section, il en ressort que les études portant sur l'impact de la forme urbaine sur le potentiel solaire tendent à caractériser la forme urbaine sur deux registres : (i) **le registre morphologique** portant principalement sur une caractérisation géométrique de la forme urbaine

⁴³ Deux arrêtés sont parus en Algérie en 02/02/2014 qui garantissent l'achat de l'électricité produite par les investisseurs particuliers dans le solaire et l'éolien pour l'intégrer dans le réseau public de la Sonelgaz.

sous forme d'indicateurs souvent utilisés par les architectes-urbanistes, tel que le prospect, la densité (COS), l'emprise au sol, la compacité (S/V et $S/V^{2/3}$) le Sky View Factor (SVF) ou l'ouverture au ciel. (ii) **le registre physique** qui tend à caractériser la forme urbaine par ses attributs physiques, tel que l'Albedo, l'inertie thermique des matériaux et des outputs souvent utilisés tel que la température moyenne radiante, la température de l'air. *In fine*, Il nous semble qu'à travers la revue de l'historique du phénomène solaire et celle de quelques recherches⁴⁴ citées *supra* que les recommandations conceptuelles et les recherches scientifiques s'orientent aujourd'hui dans la direction d'une codification du solaire adaptée au contexte spatial (latitude) et socio-culturel. Nous abordons dans ce qui suit quelques aspects importants qui influent sur l'efficacité énergétique à l'échelle urbaine.

b. Forme urbaine, flux et énergie

Energie et ventilation urbaine

Dans cette section, la relation entre forme urbaine et énergie est présentée en deux temps. Premièrement, une batterie d'indicateurs morphologiques sont tirés de la littérature scientifique, et dans un second temps, l'impact de la variation de ces mêmes indicateurs morphologiques est discuté à travers la revue de la littérature scientifique. Cette partie tend à synthétiser la littérature scientifique sur la base d'une lecture organisée selon les indicateurs morphologiques et leur impact sur la ventilation urbaine, ainsi que la demande énergétique des bâtiments. Les généralités de la ventilation urbaine, quoiqu'importantes, nous ne les avons pas abordés dans cette section. Tout lecteur désirant approfondir spécialement l'analyse de la ventilation urbaine pourra trouver dans l'état de l'art de la thèse de Kitous (2013) un développement détaillé de la problématique.

La ventilation naturelle est associée à un transport d'air, agir sur la ventilation est donc une problématique liant le vent (sa vitesse, sa direction et sa fréquence) à la forme urbaine caractérisée par ses bâtiments de différentes tailles et ses rues (Kitous : 2013 : 45). La revue de la littérature scientifique nous a permis d'identifier les différentes approches que l'on peut classer en trois catégories : **l'approche expérimentale**, réalisée par des mesures prise *in-situ* (Kitous : 2013, Khelifi : 2015) ; **l'approche effectuée par des souffleries** en laboratoire (Gandemer : 1976) et enfin par des modélisations et simulation numérique (Khelifi : 2015). Il est possible de caractériser l'écoulement d'air en milieu urbain en liaison avec la morphologie urbaine. Toutefois, ces caractéristiques n'expriment que les tendances (modèles) générales, suivant lesquelles le vent a tendance à suivre. Il serait possible aussi de prédire le régime ou le type d'écoulement du vent dans les cas où les caractéristiques morphologiques et topographiques du site présentent une certaine similitude avec les cas étudiés. La revue de la littérature scientifique portant sur le phénomène de la ventilation urbaine de Kitous (2013) a montré des limites et des décalages plus ou moins importants entre une approche par simulation et une approche par mesure *in situ*. L'auteur préconise quand même le

⁴⁴ On s'est limité au contexte occidental entre le 19^{ème} et le 20^{ème} pour l'abondance des sources bibliographiques et aussi pour le fait que le traitement mathématique et physique de la question solaire s'est fait en occident. D'autres travaux citant le souci du solaire qui nous renvoient au millénaire passé, comme c'est le cas de Taha dont le livre s'intitule : « Omar » et dans lequel l'auteur évoque que le calife Omar avait ordonné de construire la ville en considérant un espacement de 20 pieds entre les bâtiments pour aérer l'espace et permettre au soleil de pénétrer. Voir aussi (Boubekri : 2008) qui évoquent l'invention du bain solaire dans l'ère grecque et son usage au moyen âge par les médecins arabes.

recours au moyen de mesures *in-situ* (idem : 2013). Nous avons pu identifier par ailleurs les indicateurs morphologiques utilisés fréquemment dans l'étude de la ventilation urbaine, qui sont : la **porosité** urbaine, la **directionnalité** et la **rugosité** qui se définit comme un indicateur morphologique incontournable de la forme urbaine, exprimée par différentes manières, notamment par le **prospect** (H/W) lorsqu'il s'agit des rues de type canyon, ou par des formules représentant des degrés de complexité différents selon les indicateurs morphologiques considérés, tel que la multidirectionnalité, l'emprise au sol, la surface frontale et la hauteur des bâtiments (Boukarta et Mokhtari : 2017). Dans ce qui suit nous présenterons la synthèse de quelques travaux de recherche. Une ventilation urbaine est dite bonne s'il y a échange entre le vent synoptique et le vent circulant dans la canopée urbaine.

Influence du prospect H/W sur la variation des écoulements d'air dans la rue canyon

Dans le cas du vent à incidence perpendiculaire à l'axe de la rue, la valeur du prospect définit le système du vortex dans la rue et en conséquence, la manière avec laquelle cette rue est ventilée. Le nombre de vortex augmente avec la profondeur du prospect. Les canyons ayant un prospect supérieur à deux présentent des propriétés de ventilation très faibles.

Dans le cas de vent parallèle à l'axe de la rue, la valeur du prospect H/W définit l'intensité de l'écoulement le long de la rue. Les effets de canalisation sont plus importants dans les rues les plus larges. La ventilation est assurée par effet advectif⁴⁵, et les échanges verticaux sont quasi nuls.

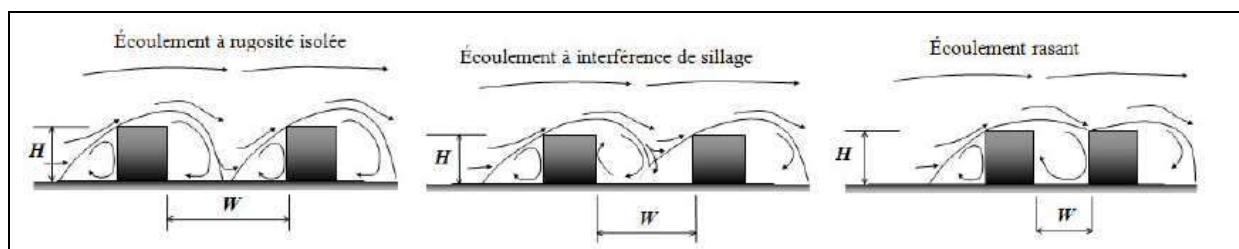


Fig 2- 12 : Rue de type canyon avec un rapport d'aspect W/H supérieur à 2,5 (rugosité isolée), compris entre 1,54 et 2,5 (interférence de sillage), et inférieur à 1,54 (rasant). Source : Oke (1987)⁴⁶

Dans le cas du vent oblique, l'effet du prospect n'est pas clairement défini. En revanche, le caractère tridimensionnel de l'écoulement favorise une meilleure ventilation de la rue. La ventilation est assurée par effet advectif et échanges verticaux avec la couche supérieure.

Effet de la longueur du canyon et intersection des rues

Nous avons vu *supra* que le rapport du prospect ne pourra suffire à lui seul pour expliquer les écoulements des vents dans un canyon urbain. Ainsi la longueur du canyon, exprimée par le rapport L/H , intervient comme un facteur important affectant la nature de l'écoulement en agissant sur sa composante horizontale. La plupart des études entreprises pour l'étude de l'écoulement du vent prône la voie de l'étude des échanges verticaux en se basant sur la géométrie du canyon, et en particulier le prospect et pour de moindre mesure le L/H (Johnson et Hunter, 1999). Ces études supposent que l'écoulement est de nature verticale, bidimensionnel, au milieu de la rue, car peu

⁴⁵ Déplacement horizontal du vent de l'air.

⁴⁶ Cité par E.Bozzonet (2005 : 50).

influencé par l'écoulement horizontal induit par les effets du coin. Pourtant, des essais sur site (Dobre et al : 2005 ; Gerogakis et Santamouris : 2006), par modélisation numérique et d'expérience en soufflerie atmosphérique (Kastner-Klein et al : 2004 ; Assimakopoulos et al : 2006 ; Carpentieri et al : 2009) suggèrent un rôle important des intersections dans l'étude de l'écoulement du vent. Ces intersections conduisent à la formation des zones de recirculation horizontale et des tourbillons d'angle à l'entrée de la rue. L'écoulement tourbillonnaire horizontal s'étire le long de la rue et interagit avec la composante verticale en créant ainsi un écoulement tridimensionnel complexe. Ces tourbillons d'angle s'étendent en spirale tout le long de la rue en interagissant avec le tourbillon vertical à l'intérieur de la rue canyon, améliorant de ce fait la ventilation de la rue. Par ailleurs ce potentiel de ventilation s'estompe avec l'augmentation de la longueur de la rue.

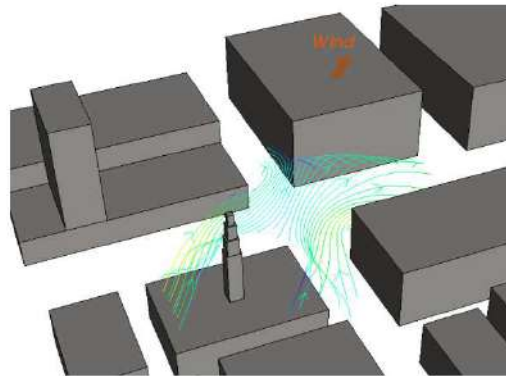


Fig 2- 13 : Vitesses du vent au niveau des intersections. Source : Carpentiere et al (2009 : 14)

Il est à noter que toutes les études effectuées par simulation ou modélisation et soufflerie portent sur des configurations génériques simplifiées, loin de la réalité, car une morphologie urbaine réelle présente en général des hauteurs différentes. Récemment, Gu et al (2011), en utilisant une approche 3D dans des canyons non uniformes, ont démontré que l'écoulement prend des structures beaucoup plus complexes que celles observées dans les modèles de rues uniformes (hauteur uniforme par paroi). Cette étude a révélé aussi que les échanges verticaux sont beaucoup plus importants. Ainsi, cette étude révèle l'importance que peut jouer un bâtiment non uniforme dans la structuration de l'écoulement du vent.

Les effets thermiques constituent un paramètre supplémentaire, autre que la géométrie de la rue et les conditions météorologiques, qui peuvent jouer, dans certaines conditions, un rôle important dans la détermination de l'écoulement du vent dans un canyon urbain (nombre de vortex et intensité). Particulièrement à des vitesses faibles du vent, les effets thermiques s'établissent sous la surchauffe solaire des parois et du sol du canyon urbain (Sini et al 1996). Les auteurs concluent que la différence de température peut changer le régime de l'écoulement vers un autre, par exemple d'un écoulement à un vortex à un écoulement avec plusieurs vortex contra-rotatifs. Ce qui fait que des facteurs d'ouverture au ciel (*sky view factor*) différents peuvent conduire à des variations différenciées de température, donc d'écoulement du vent à l'intérieur du canyon.

En règle générale, les effets thermiques peuvent impacter l'écoulement du vent à l'intérieur du canyon dans des conditions du vent et de prospect définies. Ils sont d'autant plus visibles dans le cas de vents faibles et à incidence perpendiculaire à l'axe de la rue, et pour des prospects étroits. Cependant, quelques rares études menées sur le terrain pour étudier les effets thermiques du vent montrent que cet effet est moindre, voire nul devant la circulation générée mécaniquement.

Caractérisation de l'écoulement de l'air dans un quartier

La caractérisation de l'écoulement du vent à l'échelle d'un fragment urbain a fait l'objet de plusieurs études tendant à produire des méthodes permettant de prédire l'écoulement du vent. Ces études mettent en exergue la rugosité de la forme urbaine dans la définition du régime du vent. Deux approches existent pour la définition du régime du vent : par simulation sous des logiciel CFD ou par approche morphométrique consistant à lier la rugosité avec le régime du vent. Il existe plusieurs méthodes, allant du simple au complexe, selon le nombre des paramètres introduits dans le calcul (Boukarta et Mokhtari : 2017).

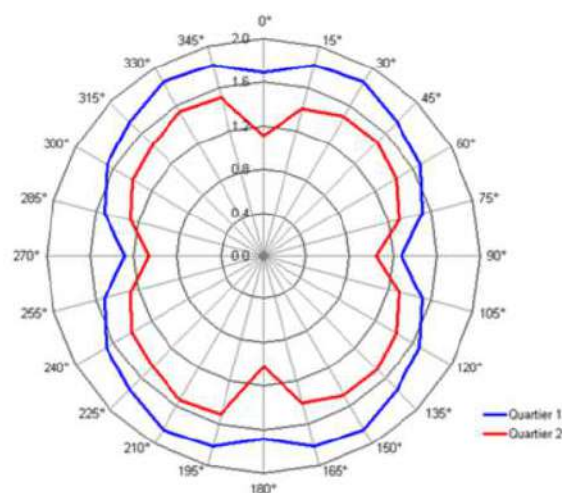


Fig 2- 14 : Exemple de rose de la Rugosité obtenue par application de la méthode morphométrique considérant les hauteurs et la densité frontale. Source : Boukarta et Mokhtari (2017)

Les formulations de la rugosité les plus complètes sont plus difficiles à mettre en œuvre, à cause du nombre des paramètres difficile à estimer et à confronter aux cas réels. Toutefois ces approches ont l'avantage de déterminer des valeurs pour la rugosité, ce qui permet de prédire le type d'écoulement. C'est pourquoi certaines études tendent à apprécier la ventilation par des indicateurs qualitatifs, quoique quantifiés, tels que la porosité (Salat : 2011) et la directionnalité (Ratti et al : 2005). La directionnalité est un concept qui montre la direction potentielle du vent à travers une estimation simplifiée de la distance séparant le point de mesure et le premier bâtiment obstruant la direction du vent à des angles différents. La méthode permet l'élaboration d'une rose polaire (Ratti et al : 2005 : 87) (voir la figure ci-dessous).

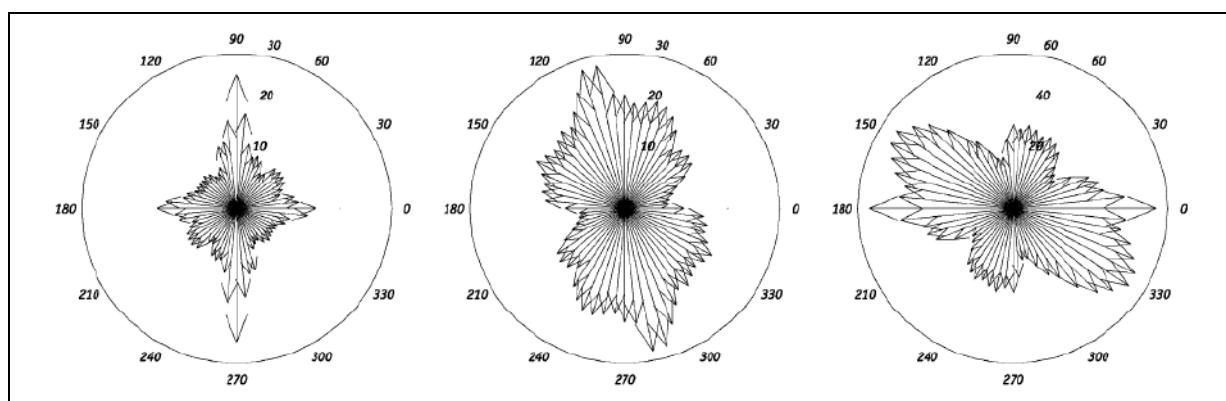


Fig 2- 15 : Diagramme polaire montrant la variation de la direction du vent suivant les différents angles. Cas : Londres, Toulouse et Berlin sont montrés de gauche à droite (les valeurs en m). Source : Ratti et al (2005 : 88).

Porosité urbaine

Ahmed-Ouameur (2005) et Salat (2011) ont repris la notion de la canopée urbaine pour faire ressortir le volume d'air qui existe réellement dans la forme urbaine. La limite supérieure de la canopée urbaine est définie par le niveau du bâtiment le plus haut donnant lieu à une sous-couche atmosphérique d'écoulement fortement perturbée, nommée *canopée urbaine* (Bozzonet: 2005).

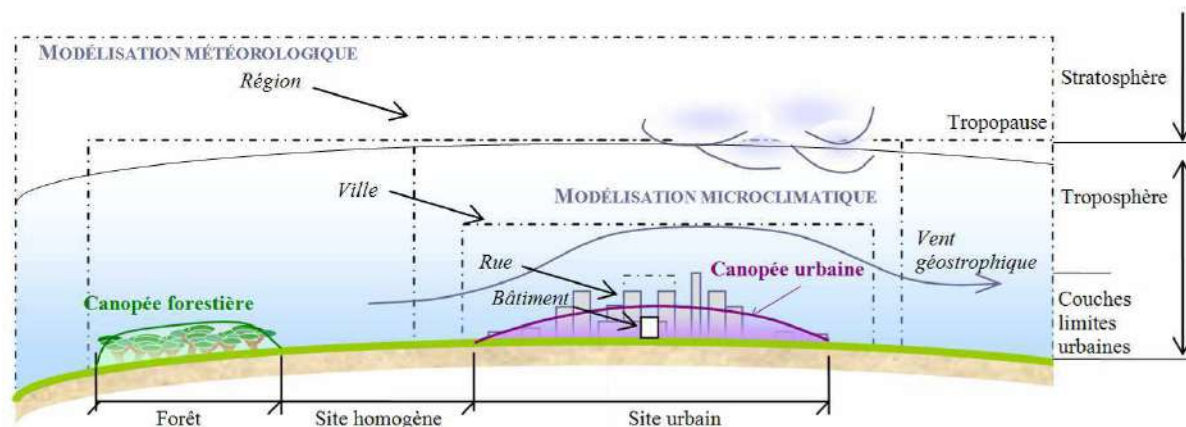


Fig 2- 16 : Structure verticale de l'atmosphère urbaine pour des vents supérieurs. Source : Bozzonet (2005)

Pour évaluer la porosité urbaine, Ouameur (2005) propose une méthode de calcul basée sur une modélisation 3D du fragment urbain étudié. Par division du volume de la canopée urbaine sans les bâtiments s'y inscrivant, sur le volume total de la canopée urbaine, on obtient des valeurs de porosité urbaine comprises entre 0 et 1. Cette valeur est souvent utilisée qualitativement en se basant sur l'hypothèse liant la formation de l'îlot de chaleur urbain à de faibles taux de porosité. Pour donner plus de précision lors des analyses, Carmen(2012) a proposé une échelle de notation allant de 1 à 20 selon la valeur de la porosité.

c. Microclimat urbain et énergie

Les études du vent, de l'ensoleillement et de l'énergie dissipée par les activités anthropiques ont fait l'objet de plusieurs recherches portant sur la problématique de l'impact du microclimat urbain sur le confort thermique dans les espaces extérieurs et sur la demande énergétique du bâtiment. Ce phénomène est reconnu comme le phénomène de l'îlot de chaleur urbain (ICU). Il explique les élévations de température remarquées entre un espace urbain et un milieu rural dégagé (Oke : 1973). Oke est la figure emblématique de la recherche dans ce domaine. Il a pu mettre en œuvre une méthode d'évaluation facilitant l'identification de l'ICU dès les années 1970, en liant tout d'abord la taille des villes en termes de population avec la différence de température entre l'espace urbain et rural (Oke : 1973). Puis, à partir des années 1980, Oke (1981) s'est intéressé à la géométrie du canyon pour décrire le phénomène de l'ICU et là, l'ouverture au ciel s'est révélée comme un indicateur significatif pour décrire les variations de température nocturne en l'urbain et le rural. Dans la même lignée et avec la même approche empirique, Oke (1987) a pu lier la variation maximale de température entre le rural et l'urbain en s'appuyant sur le prospect (H/W) (voir équation 1 et 2 *infra*). Carmen (2012) a identifié les causes de l'îlot de chaleur urbain : (i) l'augmentation des radiations provenant de l'atmosphère due à l'absorption du rayonnement en grande longueur d'onde et sa rémission par l'atmosphère polluée ; (ii) le piégeage des radiations en grande longueur d'ondes par les « canyons urbains » ; (iii) les propriétés des matériaux urbains permettant un

stockage de la chaleur le jour et sa libération la nuit ; (iv) la chaleur anthropique provenant des activités urbaines et façades des immeubles ; (v) la baisse de l'évaporation due à une réduction de la végétation et aux surfaces imperméables ne permettant pas de constituer un stock ; et enfin (vi) la baisse de la perte de chaleur sensible due à la réduction de la vitesse du vent dans la canopée urbaine.

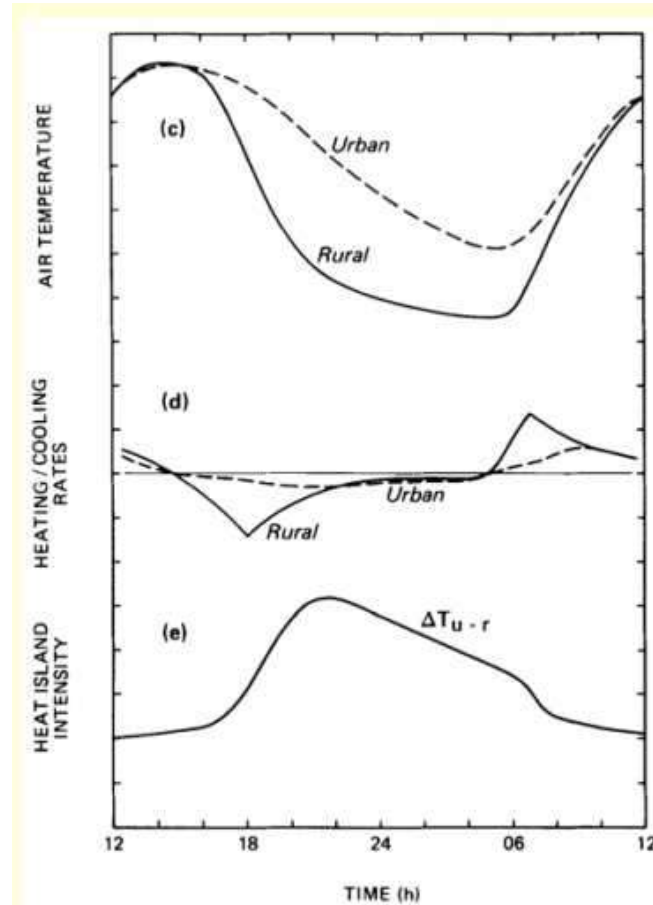


Fig 2- 17 : Variation de température entre l'urbain et le rural, Source : Oke (1982)

Oke définit l'ICU en tant que différence de température en instant T, séparant l'espace urbain de son homologue rural. Il a exprimé cette différence avec deux formules, obtenues grâce à une série d'études menées sur les villes américaines :

$$\Delta (T_u-r) = 7.54 + 3.94 \ln (H/W). \quad (\text{Oke : 1987}) \quad (1)$$

$$\Delta (T_u-r) = 15.27 - 13.88 \Psi_{\text{sky}} \quad (\text{Oke : 1981}) \quad (2)$$

Avec : $\Delta (T_u-r)$ est la différence de température entre le milieu urbain et rural.

H/W: le prospect de la rue considérée.

Ψ_{sky} : sky view factor ou ouverture au ciel.

Oke a défini aussi les *Urban Climate Zone* (UCZ), dont chacune est représentée par une superficie de 1 hectare (100mX100m). Les caractéristiques microclimatiques dans chaque UCZ restent, d'après Oke, les mêmes. Quoique l'apport d'Oke (1967) reste d'un grand intérêt scientifique dans la discipline de la micro-climatologie, sa méthode présente des limites : (i) la méthode est basée totalement sur une approche empirique visant la comparaison entre les villes américaines. Les UCZ

reste transposable et valable pour l'Europe⁴⁷, mais sa pertinence se trouve discutable dans les villes asiatiques (Carmen 2012) et africaines ; (ii) la méthode de Oke n'est pas précise et ne permet pas l'identification des zones d'intervention.

En s'appuyant sur les études de Oke, autres chercheurs ont validé la transposition de la méthode okienne vers l'Europe (Carmen : 2012, Ratti et al : 2003) et d'autre chercheurs comme Wong Nyuk Huienet al (2011) ont introduit d'autres paramètres, notamment : (i) Le PAVE (*percentage of pavement*) pourcentage de surface imperméable sur un rayon de 50m, équivalent au pourcentage de surface imperméable. (ii) Le WALL, le total des surfaces de mur. (iii) Le GnPR (*Green Plot Ratio*) ce qui représente le ratio de surface végétale. La modélisation s'est basée sur une campagne de mesures d'une durée de trois ans. Les variations microclimatiques ont par la suite été confrontées à la demande énergétique des bâtiments environnant à travers des simulations. Les résultats ont mis en tête la densité végétale, car réduisant la température environnante jusqu'à -2°. Les variations microclimatiques ont par exemple une influence de -4.5% sur la demande énergétique pour le rafraîchissement à Singapour. Dans le même sillage, Bozzonet (2005) en proposant une méthode de modélisation de la demande énergétique des bâtiments en Grèce, a trouvé que la demande énergétique des bâtiments varie sensiblement entre un calcul réalisé sur la base des données obtenues des stations météorologiques et les données obtenues par mesures *in-situ*. La demande énergétique pour la climatisation est 50% plus importante que la demande énergétique calculée à partir des stations météorologique implantées dans une zone dégagée pour les façades orientées vers le Nord, et près de 70% pour les façades orientées vers le Sud. Ces résultats démontrent amplement l'importance de l'impact du phénomène de l'ICU sur la demande énergétique en périodes estivales.

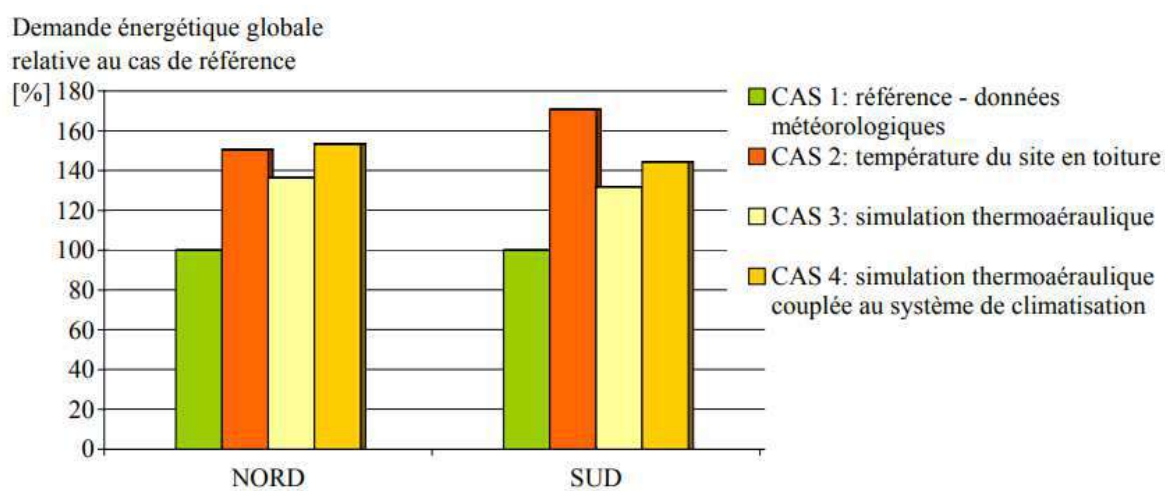


Fig 2- 18 : Comparaison, en pourcentage, de la demande énergétique calculée sur les 28 jours d'étude pour les différents niveaux de détermination des conditions extérieures par rapport au cas de référence. Source : Bozzonet (2005 : 159)

⁴⁷ Notamment en France, où des études des Zones Climatiques Urbaines locales ont été effectuées par exemple dans le cadre du Schéma de Cohérence Territoriale SCOT de Grand Paris et de certains Plans Locaux d'Urbanisme intercommunaux PLU et des Plans Climat Air (voir https://iau-idf.fr/La_vulnérabilité_de_la_ville_à_la_chaleur_par_l'approche_Zones_Climatiques_Locales_ZCL).

2.3.2. Forme urbaine, mobilité et énergie

L'impact de l'aspect fonctionnel de la forme urbaine sur la demande énergétique se décline sur le registre de la mobilité générée par l'affectation des fonctions urbaines et la connectivité du système viaire. On entend par fonction urbaine toute activité caractérisant un espace urbain selon sa fonction : fonction résidentielle, commerciale, administrative, industrielle, tertiaire, transport, etc.

Localisation des fonctions urbaines et déplacements

Selon la plupart des modèles d'organisation économique des villes, les localisations sont liées à l'arbitrage des acteurs entre les coûts du foncier, les coûts de transport (en terme de distance kilométrique et de distance-temps), la qualité de l'environnement, la sécurité, etc, qui varient du centre aux périphéries (Gervais-Lambony et al : 2001 : 27 ; Mérenne-Schoumaker : 2002 et 2003). L'affectation des fonctions urbaines a suivi le développement des moyens de transport qui est passé du piéton, aux transports en commun (TC) et à la voiture particulière. Y. Zahavi (1976), cité par Halleux et Lambotte (2006 : 26), a mis en place un paradigme caractérisant la mobilité à travers la loi de constance des budgets et des temps de transport. Cette loi stipule que les ménages tendent à maximiser leurs opportunités spatiales en maximisant les distances parcourues quotidiennement dans la limite d'un « budget-temps ». Le seuil en termes du temps est limité de 60-90 minutes et une part budgétaire ne dépassant pas les 15-20 %. L'auteur ajoute que c'est la saturation de la première contrainte qui déterminera le mode de mobilité quotidienne. En d'autres termes, les ménages ont la préférence de stabiliser le temps-seuil consacré à la mobilité quotidienne et acceptent de parcourir davantage de distances dans le territoire de vie grâce à l'accroissement de la vitesse de mobilité (*Ibidem*). C'est un constat important dans le cadre de notre recherche, qui pourrait être vérifié lors des enquêtes relatives à l'occupant.

Par ailleurs, en associant l'organisation spatiale des formes urbaines à la vitesse de mobilité, Newman et Kenworthy (1996, rapporté par Halleux et Lambotte : 2006 : 26-27) ont conçu trois modèles expliquant le développement des villes : (i) la ville piétonne ; (ii) la ville transport en commun ; (iii) et la ville voiture (Voir la figure ci-dessous). Entre les trois phases de développement, c'est l'organisation spatiale qui se trouve étendue et dédensifiée, comparée à la ville piétonne qui se caractérise par une organisation spatiale conçue et adaptée à la vitesse piétonne. C'est dans le troisième modèle que le réseau viaire se trouve ubiquiste et les fonctions urbaines se séparent dans l'espace et dont l'usage est peu parcimonieux (Halleux et Lambotte : 2006 : 27).

Ville « piétonne » traditionnelle

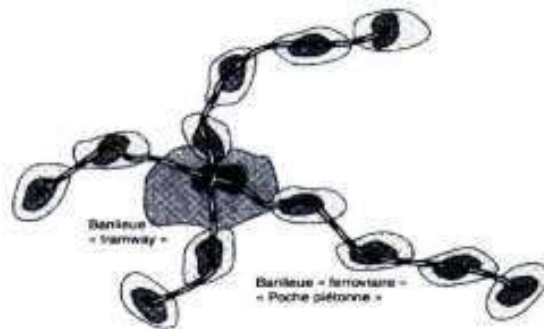
- haute densité
- multifonctionnalité
- structure organique



Sources : P.W.G. Newman et J.R. Kenworthy, 1996

Ville « transports en commun »

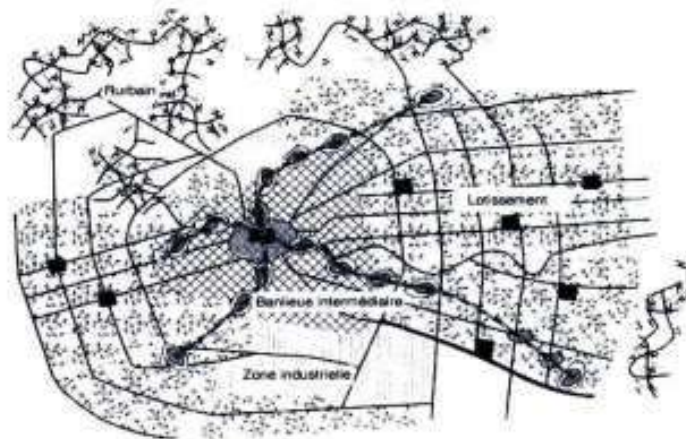
- densité moyenne
- multifonctionnalité
- forte centralisation



Sources : P.W.G. Newman et J.R. Kenworthy, 1996

Ville « voiture »

- faible densité
- monofonctionnalité et zonage
- faible centralisation



Sources : P.W.G. Newman et J.R. Kenworthy, 1996

Fig 2- 19 : Mode de mobilité et modèle de formes urbaines. Source : Newman et Kenworthy (1996) rapporté par Halleux et Lambotte (2006 : 27).

La multifonctionnalité des formes urbaines a fait l'objet de recherches de plusieurs auteurs qui ont développé « **l'indice de mixité fonctionnelle** ». Cependant la conception de cet indice diffère d'un auteur à un autre, nous y reviendrons avec plus de détail dans le chapitre 5.

Connectivité du système viaire

Le système viaire a fait l'objet de transformation pour rattraper le rythme d'urbanisation enclenchée avec l'avènement de la révolution industrielle. Avec Le Corbusier, le mouvement moderne a proposé une hiérarchisation du système viaire selon la règle connue de 7V⁴⁸, ou les systèmes de voie de circulation de Buchanan. Dans ce type de système, l'importance est donnée aux voies plutôt qu'aux nœuds (Salat : 2011 :214). David Mangin (2003) a synthétisé les principales propositions des systèmes viaires de l'ère du vingtième siècle, où la hiérarchisation arborescente des voies crée des zones urbaines faiblement connectées. Dans un article paru en 1965, Alexander (1965) s'est positionné contre, en réfutant l'acception qui consiste à décrire la ville comme un arbre et il la décrit plutôt comme une structure organique « complexe » à l'image d'un semi-treillis (Salat : 2011 : 215). Dans la même lignée, Nikos Salingaros (2005, cité par Salat : 2011 :216-219) spécifie que le réseau viaire doit être composé de : (i) des nœuds qui représentent les points du réseau à connecter ; (ii) les connexions qui doivent se faire entre éléments complémentaires et non similaires ; (iii) la hiérarchie du réseau viaire ne doit être ni excessive ni souffrant d'un manque, l'une crée le chaos et l'autre créera un dysfonctionnement. Aussi, la hiérarchie ne doit pas être entendue dans le sens moderniste, à la Buchanan, une hiérarchie construite exclusivement sur la base du système de circulation, mais doit inclure d'autres paramètres tels que le déplacement piéton, la sécurité et la qualité de l'environnement urbain.

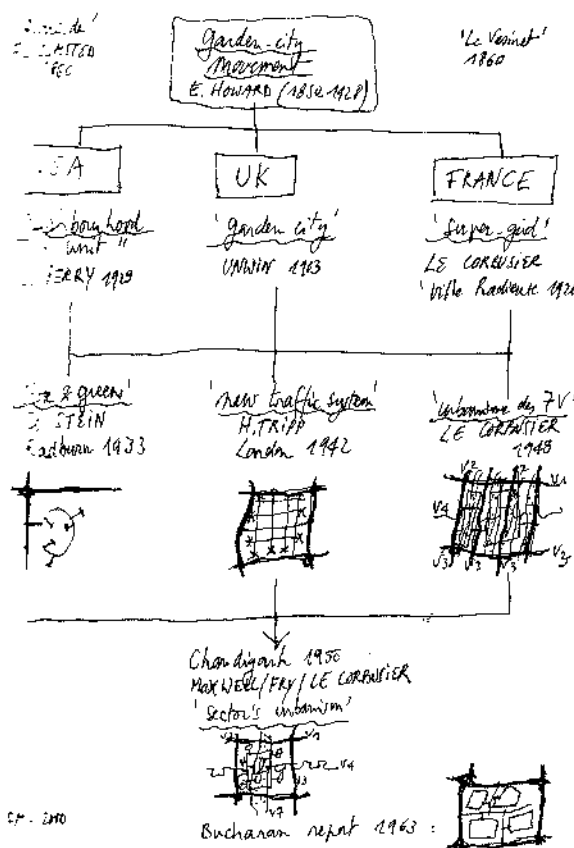


Fig 2- 20 : Système viaires proposée en 20^{ème} siècle. Source : David Mangin (2003)

⁴⁸ La règle de 7V est développée et appliquée par Le Corbusier dans la ville de Chandigarh. Les 7V consiste à hiérarchiser les voies de circulation où la V1 est la route nationale et la V7 comprend les pistes cyclables et les espaces encourageant marche à pied (Mangin : 2003).

L'offre de mobilité constitue aussi un indice important de connectivité urbaine, les arrêts des transports en commun doivent couvrir toute la surface urbaine, sinon toute zone non desservie se trouvera isolée du reste de la ville. Dans une étude, R.Rogers (2008) a démontrée à travers le dessin des rayons d'action des points de desserte en TC, que les zones urbaines non desservies à Londres étaient des zones isolées sujettes à l'insécurité et qu'elles accentuaient la paupérisation de leurs habitants (Voir la carte ci-dessous).

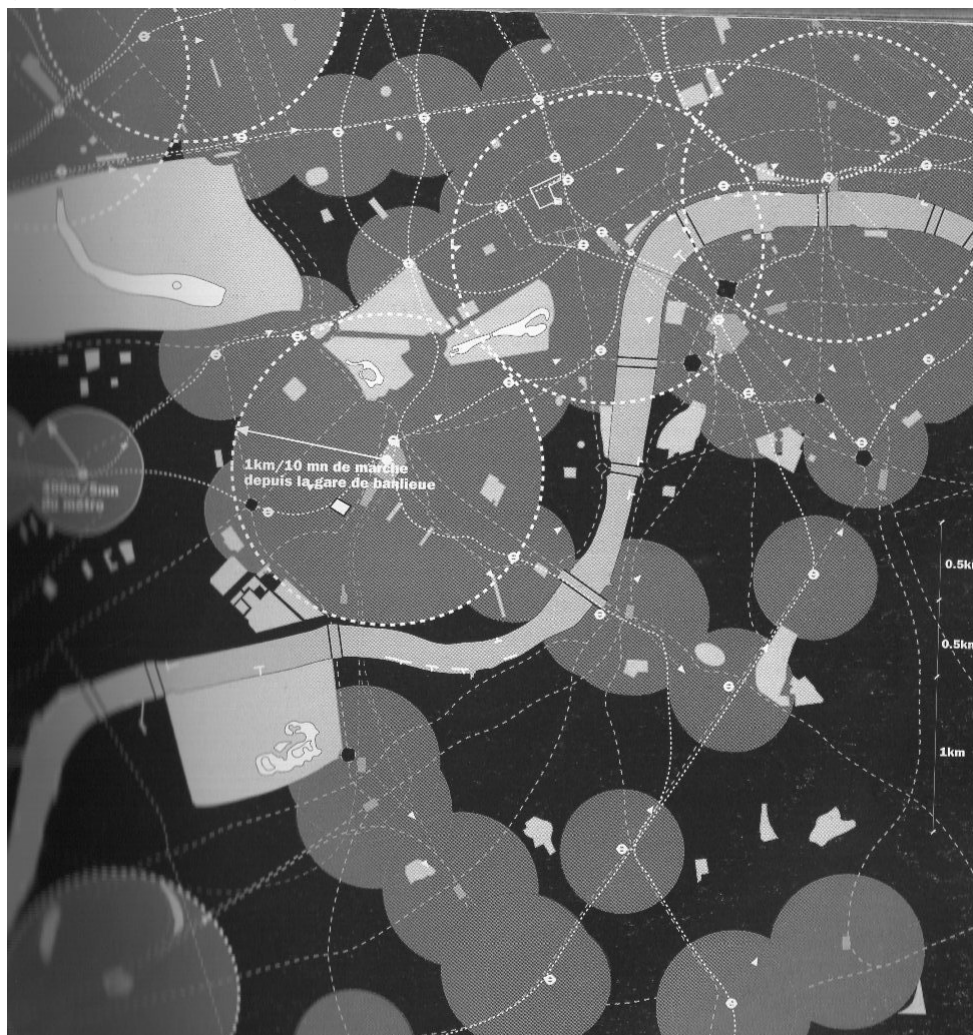


Fig 2- 21 : Rayon d'action des points de desserte en TC. Les zones restées en noir constituent les zones non desservies.
Source : Rogers (2008).

2.3.3. Occupant et énergie

Afin de décrire la relation que tisse l'occupant avec l'énergie, il est indispensable de définir la pratique de consommation d'énergie. D'après *Britannica Concise Encyclopedia*, « la consommation ou « consumption » est l'utilisation de biens et de services ». Cette utilisation est motivée par la satisfaction d'un besoin d'une façon immédiate. Mais la consommation d'énergie a la particularité d'être utilisée d'une façon intermédiaire, en vue de produire autres services qui étaient jusqu'alors non satisfaits sans cet usage. Elle [consommation d'énergie] n'est alors faite que d'usages et pratiques et elle est nécessairement médiatisée par un ensemble d'équipements et de dispositifs. Donc la consommation d'énergie fonctionne selon le principe de la « consommation productrice » (Lefebvre : 1986 : 432) de services, plutôt que comme un cercle vicieux motivé par le besoin. Elle est liée à la combinaison de trois conditions (Quertinmont, J-C : 2007) : (i) le besoin (chauffage,

éclairage...etc.) ; (ii) une disposition particulière assurée par un équipement ou une organisation particulière de l'espace ; (iii) la présence d'une ressource en énergie exploitable.

Selon Quertinmont (2007), la consommation d'énergie est caractérisée par : (i) le caractère quasi invisible de cette consommation dû à son coté « services rendus ». En effet, remplir le réservoir de sa voiture n'a d'objectif que de pouvoir se déplacer. Et c'est ainsi aussi pour les ménages : augmenter le thermostat du chauffage n'a d'objectif que de se faire chauffer et on ne sait pas, sur l'instant, combien on consomme de gaz ou d'électricité pour répondre à ce besoin ; (ii) le caractère non réflexif et hétérogène de la consommation d'énergie. Cela est dû principalement au fait que l'énergie se présente sous plusieurs formes, gaz, électricité, carburant...etc. Et l'évaluation de la consommation d'énergie devient du fait une opération incertaine, non réflexive parce qu'elle est hétérogène (Beguin J-M. et al : 2003).

Les études portant sur l'efficience énergétique des bâtiments tendent à simplifier, voir réduire le rôle de l'occupant pour que les variations en termes de demande énergétique ne soient expliquées que par des variables physiques. Or, dès le début des années 2000, beaucoup de recherche sont précisés le rôle important que peut jouer un occupant dans la modification de la consommation énergétique, qui, elle peut varier de 50 à 200% (Dall'o : 2012). Certains auteurs ont tenté d'expliquer les variations de la consommation électrique au prisme des facteurs socio-politiques (Bartiaux et Gram-Hanssen : 2005). Les conclusions de certaines recherches corroborent l'importance de caractériser ou connaître « l'occupant » dans toute politique de maîtrise d'énergie. Nous citerons quelque uns : (i) tout d'abord, les travaux de Gram-Hanssen et Bartiaux (2002 : cité par F.Bartiaux) nous ont démontré que le comportement des consommateurs qui tendent à réduire les impacts négatifs sur l'environnement, ne se justifie pas souvent par un souci de protection de l'environnement. (ii) d'autre part, les habitants qui jouissant d'une connaissance [presque] parfaite sur les risques environnementaux et les moyens à utiliser pour les réduire, n'agissent pas vraiment dans ce sens et que l'utilisation des équipements destinés à réduire la consommation d'énergie n'aboutit pas toujours à une économie d'énergie. Cette situation paradoxale est appelée « *efficiency gap* » ou « **écart d'efficacité** » (Jean-Marie Beguin et al : 2003 :27). (iii) D'après Hinchliffe, (1995 : cité par Beguin et al : 2003 : 44), l'usage de l'énergie « *est associé à un ensemble de biens culturels, qui sont eux-mêmes chargés de significations telles que propreté, individualisme, statut, accessibilité et rôles sexués, et qui sont sujets à changement ou à résistance au changement* ». Ainsi, des occupants habitant le même type de bâtiment, conçu et construit sous la même réglementation thermique, présentent des données de consommation d'énergie différentes. Dans l'optique de maîtrise de l'énergie, nous pouvons donc affirmer que la consommation d'énergie semble dépendre d'un « **référentiel d'action des occupants** ». Ce référentiel d'action peut provenir de l'environnement bâti, comme des données socio-économique des occupants, voir même du cadre législatif portant sur la maîtrise de l'énergie. Ceci nous mène enfin à définir la forme urbaine comme référentiel d'action conditionnant et structurant les pratiques de consommations d'énergie.

2.3.4. Cadre réglementaire

L'impact de la réglementation thermique sur la demande énergétique des bâtiments a une importance claire à travers les exigences évolutives du cadre réglementaire. Dans des recherches comme celle de Manoj Kumar et al (2013) ou Maizia et al (2008), les bâtiments réalisés avant la date d'introduction de la réglementation thermique consomment plus que les bâtiments récents. Ceci est d'autant plus observé dans les pays occidentaux que dans les pays en voie de développement, qui peinent à introduire la réglementation thermique dans les exigences constructives. En Algérie, la réglementation portant sur la maîtrise de l'énergie, développée dans le premier chapitre, n'est pas totalement appliquée alors que le cadre législatif existe depuis 1999. Le cadre réglementaire serait alors considéré comme instrument d'accompagnement de l'urbanisation.

A l'échelle urbaine, la réglementation générale d'urbanisme (décret 91-175), applicable seulement en cas d'absence de POS, présente des conditions d'implantation pour assurer un accès solaire à travers les articles 21-35. D'après Ali-Toudert (2000), les instruments d'urbanismes algériens souffrent de l'absence d'une méthodologie claire permettant de bien adapter la forme urbaine à son climat. Le même auteur a proposé une méthodologie portant sur l'identification des déterminants climatique et microclimatique de la forme urbaine. Cependant, le volet « occupant » n'y ait pas été traité.

Conclusion du Deuxième Chapitre

Dans le présent chapitre, nous avons passé en revue les différentes acceptions de la forme urbaine, et nous sommes arrivés à une constante partagée par tous les auteurs évoqués dans le présent chapitre. La forme urbaine est approchée comme un système dont les composantes sont en lien direct avec la finalité du système en question. La vulgate systémique s'est imposée à notre lexique d'elle-même, du moment que l'essence même de la forme urbaine n'est concevable que dans le cadre d'une approche systémique. Et c'est ainsi que nous avons trouvé que la totalité des études revues dans le présent chapitre procède par approche systémique pour identifier l'impact d'un indicateur tout en le considérant en interaction avec d'autres. Durand et Nunez (2002) ont identifié les principales étapes de l'approche systémique comme suit : (i) la définition du champ de modélisation ; (ii) la conception du modèle ; (iii) la recherche du comportement ; (iv) et enfin, la validation du modèle (voire figure ci-dessous).

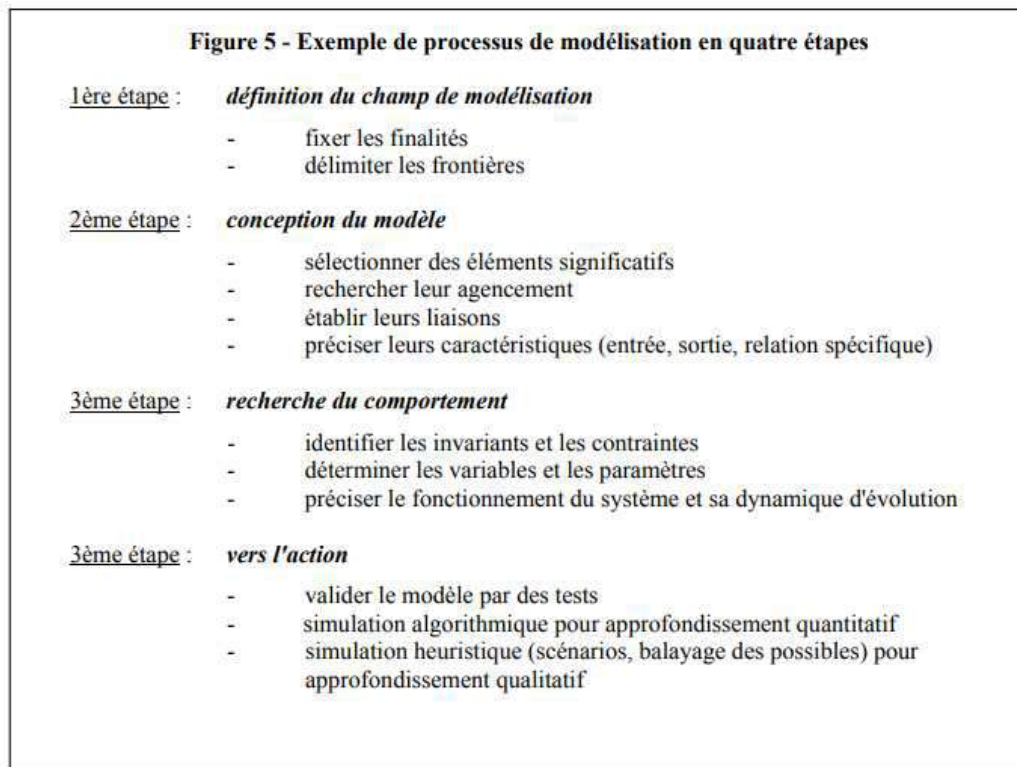


Fig 2- 22 : Etapes d'application de l'approche systémique. Source : Durand et Nunez (2002)

Par conséquent, l'introduction de l'approche systémique pour notre quête se traduit par les étapes présentées dans la figure ci-dessous.

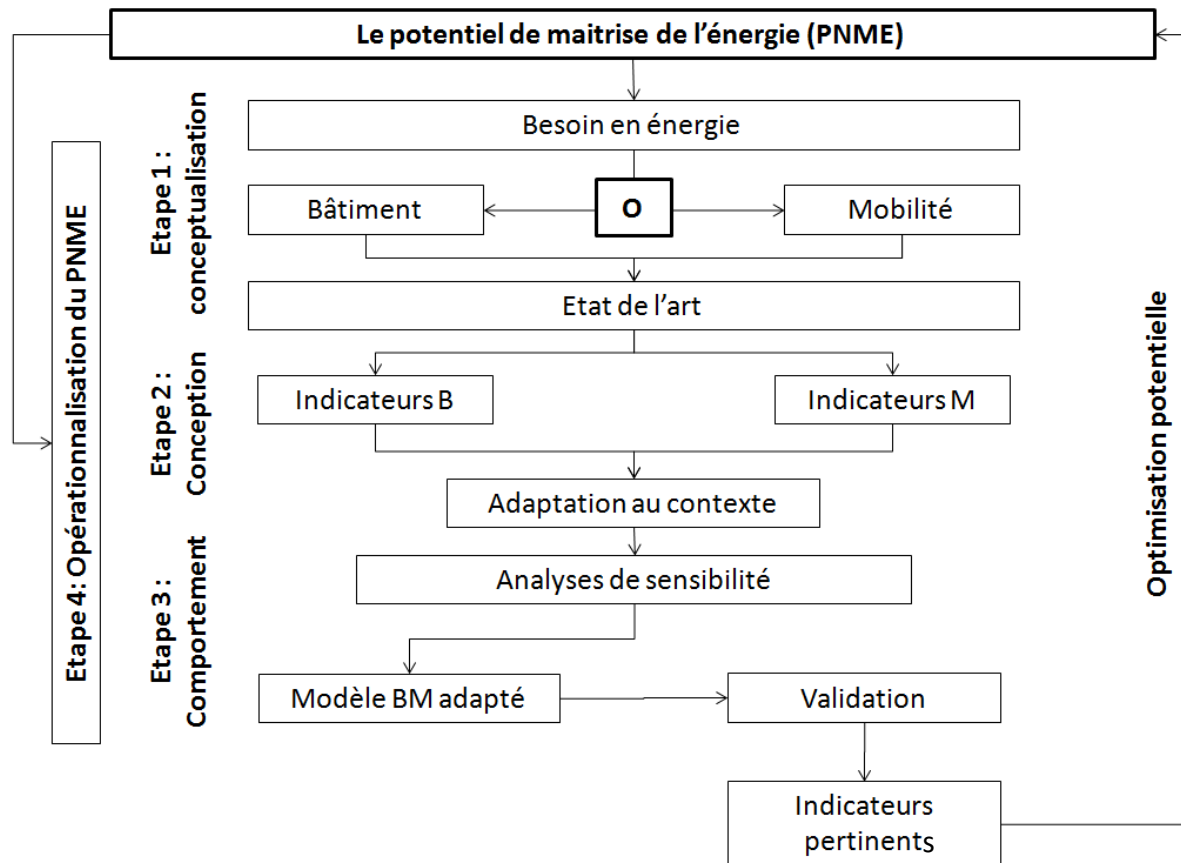


Fig 2- 23 : Approche systémique adaptée à notre recherche. Avec : O : occupant, B : Bâtiment, M : Mobilité, PNME : potentiel de maîtrise de l'énergie. Source : S. Boukarta

Nous avons opté dans ce chapitre pour une décomposition des éléments de la forme urbaine sous l'optique des éléments impactant la demande énergétique. Les leviers de maîtrise de l'énergie se déclinent sur les quatre registres de la forme urbaine: (i) l'aspect morphologique avec son volet spatial et physique impactant la demande énergétique des bâtiments; (ii) le volet mobilité caractérisé par l'affectation des fonctions urbaines et la connectivité des réseaux viaries, (iii) le cadre réglementaire; (iv) et enfin l'occupant, qui dans ses pratiques de consommation d'énergie agit selon son « **référentiel d'action** », composé de variation de la forme urbaine et de ses propres caractéristiques socio-économiques. Comme nous l'avons vu, les recherches récentes montrent l'impact important que peut jouer l'occupant dans la consommation d'énergie (Dall'o : 2012, T.Zaraket : 2014).

Les caractéristiques de la forme urbaine développées *supra* se présentent comme un environnement de sollicitations externes conditionnant la consommation résidentielle d'énergie. Par ailleurs, les quelques recherches que nous avons citées dans le présent chapitre nous renvoient sur l'aspect multiscale de la problématique de la maîtrise de l'énergie (voir figure ci-dessous). Les registres d'intervention visent le même objectif, la maîtrise de l'énergie et ses effets sur l'environnement. Cependant, l'échelle d'intervention, la méthode d'analyse et l'entrée en problématique sont différentes à chaque échelle. L'occupant constitue ici une entrée incontournable, fédératrice des autres, nous permettant une approche multiscale comprenant les autres registres d'intervention cités le long du présent chapitre. Le rôle de l'occupant peut être assimilé à un transducteur

paramétrable convertissant les caractéristiques morphologiques et fonctionnelles en des pratiques de consommation d'énergie. Donc la forme urbaine, saisie comme structure physique et fonctionnelle, se pose comme une composition particulière des variables exigeant de nous un effort d'identification dans un premier temps, puis d'exploration des corrélations potentielles et éventuelles entre les caractéristiques des formes urbaines et les pratiques de consommation d'énergie chez les occupants. La forme urbaine est dans cette approche une entrée incontournable à travers laquelle il serait possible d'orienter l'usage de l'énergie. *In fine*, la maîtrise de l'énergie se pose alors effectivement comme une problématique de maîtrise d'œuvre urbaine, comme nous l'avons avancé dans le chapitre précédent.

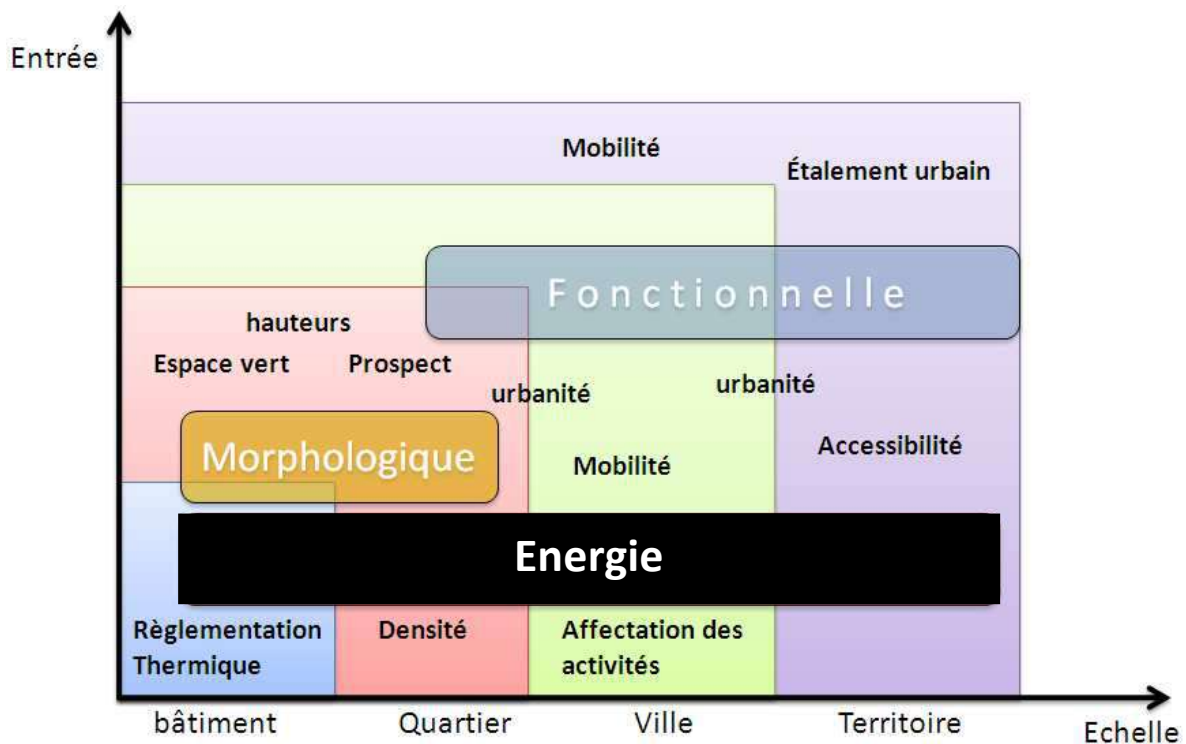


Fig 2- 24 : Echelles d'intervention et les déterminants de la maîtrise de l'énergie. Source : S. Boukarta

Le modèle général nous permettant d'apprécier le potentiel de maîtrise de l'énergie des formes urbaines peut être assimilé à une organisation centrique, contenant au centre l'occupant et dont les pratiques de consommation d'énergie sont conditionnées dans un premiers temps par ses propres caractéristiques socio-économiques, et ensuite par les conditions morphologiques, fonctionnelles et réglementaires (thermique et urbaine). Le tout se présente comme un processus cumulatif dans le temps (voir figure ci-dessous).

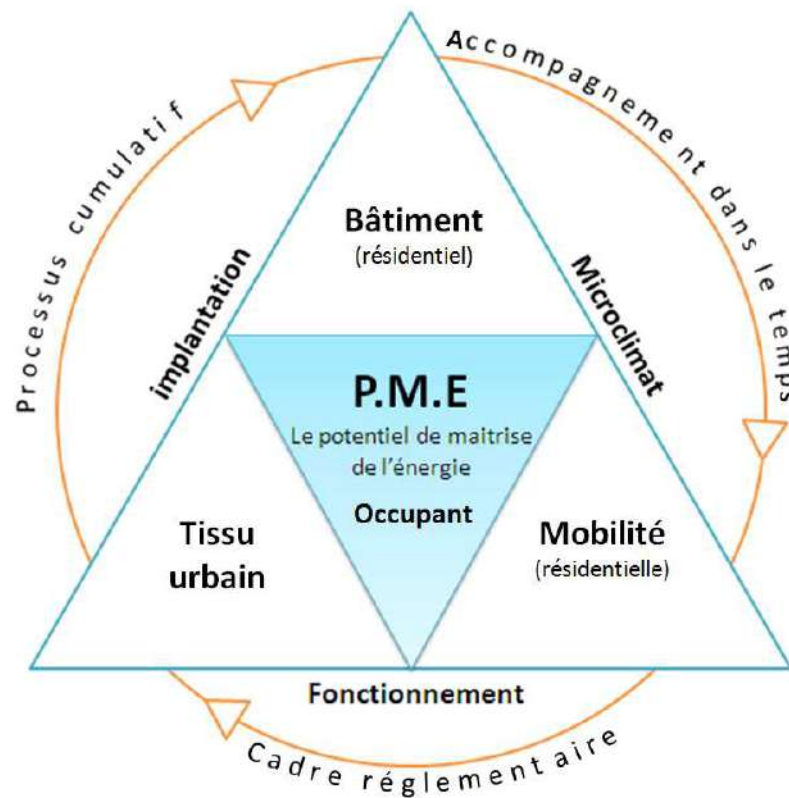


Fig 2- 25 : Modèle général expliquant le potentiel de maîtrise de l'énergie des formes urbaines. Source : S. Boukarta.

La décomposition du modèle se fera au niveau du quatrième et cinquième chapitre, portant sur l'état de l'art qui nous permettra d'identifier les déterminants de la consommation d'énergie induite par la mobilité et le bâtiment.

Conclusion de la Première Partie

Dans la présente partie, nous avons situé le contexte énergétique en Algérie à travers la politique de développement et la recherche dans le domaine de l'énergie. Dans le premier chapitre, nous avons vu que l'économie de l'Algérie se base principalement sur les rentes des énergies fossiles alors que le marché de l'énergie est incertain dans le temps. Les études prospectives ont toutes démontré la raréfaction des ressources énergétiques dans un futur proche. Comme réponse à cette situation, le gouvernement a mis en place un Plan national de maîtrise de l'énergie, dont la principale orientation porte sur l'introduction des énergies renouvelables et sur l'efficacité énergétique. Nous avons enfin identifié une approche sectorielle de la politique énergétique, avec absence d'outils de maîtrise de l'énergie applicable à l'échelle de la ville. C'est dans cette même optique que s'insère notre recherche, qui vise à compléter l'éventail des outils de politique de la maîtrise de l'énergie aux différents niveaux d'approche spatio-fonctionnelle.

La deuxième section du chapitre premier a situé la recherche scientifique en Algérie, consacrée à la problématique de la maîtrise de l'énergie, à travers une lecture multiscalaire. La principale observation de la revue de littérature porte sur le nombre limité des recherches portant sur l'énergie à l'échelle urbaine et prenant en compte le rôle important de l'occupant. Les autres catégories sont plutôt mieux développées dans les études scientifiques en Algérie. Nous avons alors orienté notre recherche vers le milieu urbain, avec l'occupant comme entrée pour l'étude de la problématique de maîtrise de l'énergie,

Le deuxième chapitre de notre thèse porte, dans un premier temps, sur les définitions et les précisions conceptuelles relatives à la forme urbaine comme contenant et, dans un second temps, sur un état des savoirs relatif aux deux composantes fondamentales du tissu urbain à l'origine de la consommation de l'énergie, le bâtiment et la mobilité, présenté sous l'optique des outils, méthodes et résultats à travers une autre revue de la littérature scientifique. Ce chapitre nous a permis de développer le modèle général nous permettant d'apprécier le potentiel de maîtrise de l'énergie des formes urbaines et qui peut être assimilé à une organisation centrique, contenant au centre l'occupant et dont les pratiques de consommation d'énergie sont conditionnées par les caractéristiques socio-économiques de l'occupant, et par les conditions morphologiques, fonctionnelles et réglementaires.

Partie II

Etat de l'art, positionnement et précision méthodologique

La deuxième partie de la thèse comprend deux chapitres, le troisième portant sur la caractérisation de la consommation de l'énergie induite par le bâtiment résidentiel et le quatrième chapitre concernant la caractérisation énergétique de la mobilité. Cette partie nous est nécessaire pour préciser les déterminants potentiels et nous positionner du point de vue méthodologique. Cette approche permettra ainsi de développer notre modèle d'analyse, qui nous servira comme base dans la troisième partie, la partie empirique de la thèse.

3

CHAPITRE 3

CARACTERISATION ENERGETIQUE DE L'ESPACE RESIDENTIEL

A travers la lecture de la littérature scientifique, nous avons constaté que l'énergie finale des ménages se déploie sur le registre des données socio-économiques des occupants, le taux d'équipement par ménage et les caractéristiques des bâtiments (voir figure ci-après). Pour un bâtiment identique en terme de système constructif et ayant aussi le même système de chauffage et de rafraîchissement, la consommation des ménages peut varier par un facteur de 3 (Gram-Hanssen : 2011).

3.1. Méthode de la revue de la littérature scientifique:

Le présent chapitre s'intéresse à la première partie de notre état de l'art, concernant les études qui portent sur les déterminants de la consommation d'énergie dans l'espace résidentiel par décomposition du phénomène de consommation d'énergie, sans perdre de vue que l'impact d'un élément est à considérer dans son système d'appartenance. La problématique de la consommation d'énergie est généralement abordée selon deux approches (Kavgic et al : 2010) : (i) une approche *top-down* (Blázquez et al : 2012), selon laquelle les données de consommation sont agrégées à des échelles supérieures à l'échelle du bâtiment, quartier, district, ville, région, voire pays ; (ii) et une approche *bottom-up* (Keith et al : 2008, Boulaire et al : 2013), qui par contraste à la précédente utilise des données de consommation désagrégées à l'échelle des ménages. Nous avons considéré dans notre état de l'art les deux approches, afin de pouvoir discuter nos résultats qui seront présentés à partir du chapitre 5. L'échantillonnage réalisé dans les études présentées dans le présent état de l'art varie sensiblement selon l'objectif de l'étude, comme c'est le cas par exemple pour Vassileva (2012), qui s'est intéressé à un échantillonnage très réduit de 24 logements dont les ménages ont tous un revenus supérieur. L'échantillonnage dépend aussi de la disponibilité des données, quand il s'agit de l'échelle régionale par exemple, il peut varier de 300 000 habitations (Brounen et al : 2011) à plus de 11 millions (Hamilton et al : 2013). Ce n'est pas évidemment le cas dans le cadre de notre recherche qui s'intéresse à des milieux urbains, mais il nous semble important de souligner que les échelles spatiales élargies fournissent des informations utiles pour situer celles réalisées aux échelles inférieures et ont l'avantage de décrire un contexte géo-climatique d'appartenance des cas étudiés.

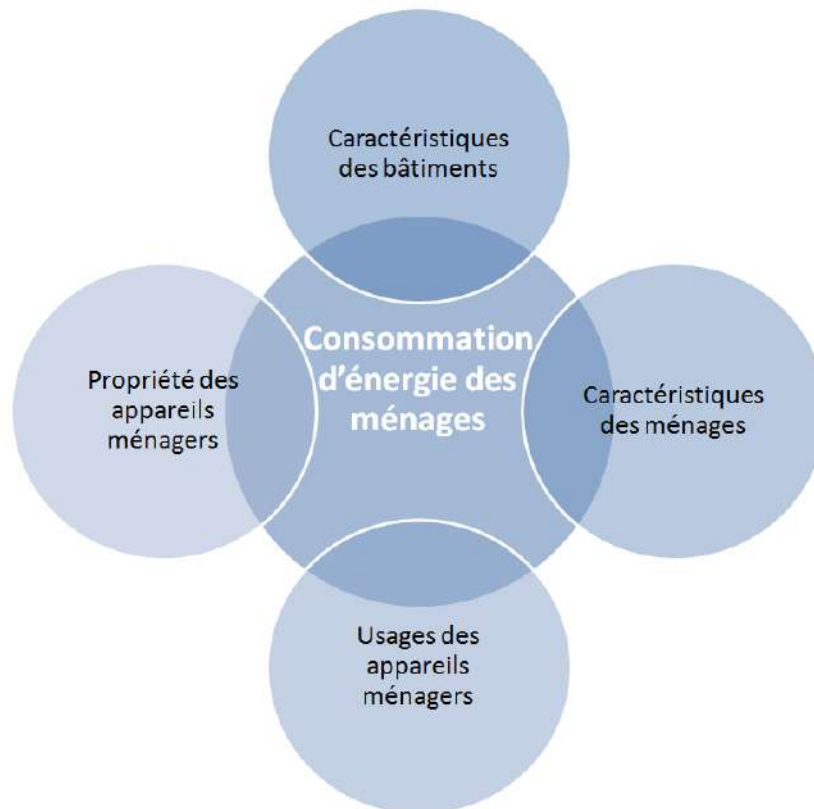


Fig 3- 1: Registre des déterminants de la consommation d'énergie des ménages. Source : S. Boukarta à partir de l'état de l'art.

Les données de consommation sont obtenues dans la plupart des études soit par : (i) collecte à partir des compagnies d'énergie du pays considéré (Blázquez et al : 2012, Blázquez et al : 2012, Brounen et al : 2011) ; (ii) questionnaire contenant à la fois des données portant sur la consommation d'énergie et les caractéristiques des ménages et leurs habitations (Bedir et Kara : 2017, Keith et al : 2008); (iii) collecte des données à partir des compteurs intelligents à intervalle de 10 minutes (Kavousian et al : 2013) ou 15 minutes (Parker : 2002) ; (iv) déduction à partir des enquêtes sur les dépenses des ménages (Druckman et Jackson : 2008, Leahy et al : 2009) ; (v) enquête téléphonique aléatoire (Bartiaux et Gram-Hanssen : 2005) ; (vi) estimations à partir des activités habitantes portant sur l'usage des appareils ménagers (Ellegård et al : 2011). Souvent, en plus des données de consommation d'énergie, une base de données supplémentaire et complémentaire est obtenue par le truchement des questionnaires ou par l'utilisation des données de recensement. La période concernée par les études est très variable, pouvant couvrir une seule journée ouvrable (Ellegård et al : 2011), un mois de consommation (Filippini et Pachauri : 2004), une saison (Keith et al : 2008), une année de consommation (Boulaire et al : 2013) ou plusieurs années (Blázquez et al : 2012).

La plupart des études présentées dans le présent état de l'art sont basées sur les méthodes statistiques, telles que l'analyse de régression simple et multiple, l'arbre de décision et l'analyse en composante principale. Rares sont les études qui tendent à estimer et à comparer les résultats (Ellegård et al : 2011). Les méthodes statistiques sont choisies car elles peuvent, à travers des analyses de sensibilité, estimer l'impact des déterminants tout en les considérant en interaction avec les autres déterminants. Nous reviendrons en détails sur les méthodes statistiques et les analyses de sensibilité en synthèse de la partie 2.

Les études portant sur la consommation énergétique des ménages sont souvent conduites dans les pays développés localisés sur des étages climatique autres que le semi-aride ou aride (notre zone d'intervention), et c'est surtout la consommation de l'électricité qui est beaucoup plus considérée dans ces études que celle du gaz et très rarement pour les autres sources d'énergie. Nous avons mentionné pour chaque étude la nature de l'énergie considérée. Même si l'étage climatique présenté dans le présent état de l'art diffère de notre aire d'étude, les résultats obtenus restent indicatifs car liés à des usages d'énergie dont la dépendance aux variations climatiques n'est pas le seul déterminant, cependant les résultats de ces études seront à utiliser avec précaution au moment de la discussion de nos résultats.

Le tableau 3-2 est considéré comme une référence pour nous dans un premier temps, et pour les lecteurs afin d'orienter leurs lectures selon leurs propres intérêts, car chaque recherche est identifiée par le lieu et la période de l'étude, ainsi que la taille de l'échantillon étudié et les registres des facteurs considérés : **SE** représente les données socio-économiques des ménages, **B** représente les données liées aux bâtiments et enfin **AM** représente les appareils ménagers. Nous n'avons pas pris en considération l'impact des systèmes de chauffage et de climatisation car peu variable en Algérie. Ainsi, le présent état de l'art ne prétend nullement à l'exhaustif, c'est plutôt une lecture de la récente littérature scientifique sous les paramètres concernant la période de l'étude, la nature d'énergie considérée dans l'étude, la méthode de collecte de données utilisée, la méthode d'analyse, l'échantillonnage, l'échelle, les registres de déterminant utilisés par chaque étude et enfin les effets des déterminant principalement obtenus par modélisation, à des niveaux de probabilité élevés (90 et 95 %) et souvent exprimée par le coefficient de détermination (R^2).

Le présent état de l'art commence par une description des études choisies, en mentionnant les registres de facteurs étudiés par chaque étude, ensuite chaque déterminant est présenté séparément et en comparaison avec les autres études. La discussion des résultats de cette analyse se fera sur l'impact des facteurs choisis et leurs combinaisons potentielles s'ils ont une corrélation positive (augmentation de la consommation de l'énergie avec l'augmentation du déterminant), corrélation négative (réduisant la consommation de l'énergie avec l'augmentation du déterminant), ou bien si leurs impacts est insignifiant sur la consommation d'énergie des ménages à travers le monde. Il est à noter que la corrélation négative est la situation souhaitable car réduisant la consommation de l'énergie. Enfin, une synthèse répondra, conformément aux constats de l'état de l'art, aux questions suivantes :

Quelle est l'importance des caractéristiques des ménages, des bâtiments, de l'usage et de la possession des appareils ménagers ? Lequel des registres étudiés a l'effet le plus important sur la consommation d'énergie ?

Précisions terminologiques

Pour éviter toute confusion dans la compréhension de l'influence des déterminants explorés sur la consommation de l'énergie dans le présent état de l'art et dans la troisième partie présentant les résultats de notre recherche, nous avons considéré la terminologie présentée dans le tableau suivant :

Tableau 3- 1 : terminologie utilisée pour décrire l'influence des déterminants sur la consommation de l'énergie.

Terme utilisé	Registre	Signification
Corrélation positive	Statistique	Rapport entre les variables analysées, qui est de nature proportionnelle (l'augmentation de la valeur d'une variable induit l'augmentation de la valeur de l'autre)
Corrélation négative	Statistique	Rapport entre les variables analysées, qui est de nature inversement proportionnelle (l'augmentation de la valeur d'une variable induit la diminution de la valeur de l'autre)
Effet positif	Qualitatif	En fonction de l'objectif de la recherche, l'effet est jugé positif quand la variable analysée induit une réduction de la consommation de l'énergie
Effet négatif	Qualitatif	En fonction de l'objectif de la recherche, l'effet est jugé négatif quand la variable analysée induit une augmentation de la consommation de l'énergie
Impact	Quantitatif	L'impact d'une variable sur une autre évalué concrètement, en % ou en valeur chiffrée d'écart.

Tableau 3- 2: Etudes choisies dans l'état de l'art relatif à la caractérisation énergétique du bâtiment résidentiel

L'ETUDE	pays	Période	Méthode	Echelle	Données	Energie	Échantillon	Facteurs			E-R ²
								SE	B	AM	
Blázquez et al (2012)	Spain	2000-2008	éconmétrique	province	Compagnie d'énergie	E	47	x	x		0.298-0.520
Bedir et Kara (2017)	Pays-bas	01-2008	Analyse factorielle	logement	questionnaire	E	323 logements	X	X	X	--
Keith et al (2008)	UK	Printemps 2005	Analyse de Régression	District	questionnaire	E+G	148 ménages		X	X	0.298 0.468
Yu et al (2010)	Japan	2001-2004	Arbre de décision	logement	Données collectée à l'échelle nationale et distribuée sous forme de CDs	E+G, GPL, Kérosène	67 bâtiments résidentiels	X	X	X	
Kavousian et al (2013)	USA	238 jours, de 28/02 2010 au 23/10/2010	régression	logement	Obtenu par des compteurs intelligents à intervalle de 10 minutes, et questionnaires.	E	1628 logement/26 états	X	X	X	0.43 à 0.68
Boulaire et al (2013)	Australie	2009	Analyse de régression	district	Données de la compagnie d'énergie à l'échelle des districts des enquêtes stat	E	12000	X	X	X	0.864
Druckman et Jackson (2008)	UK	2004-2005,	Corrélations	national	obtenu à partir d'Enquête sur les dépenses et l'alimentation	E+G	7000	X	X		
Brounen et al (2011)	Pays- bas	2007	Analyse de regression	logements	Association nationale des agents immobiliers et bureau central des statistiques.	E+G	300 000	X	X		De 0.045 à 0.496
Bartiaux et Gram-Hanssen (2005)	Belgique et danemark	2004	Régression	Logements et maisons	Echantillon aléatoire par Enquête téléphonique pour le cas belge, et collecte des données de la banque de données personnelles et des données de bâtiments danoises	E	461 et 50 000	X	X	X	0.12 0.36
Gram-Hanssen (2011)	Danemark	Variables	Régression	Logement	Echantillon variables selon les études revues.	E	De 286 à plus de 8000	X	X	X	--
Zhou et teng (2013)	Chine	2007-2009	Régression	Provinces	Enquête sur les ménages urbains chinois	E	17 villes, 5980 logements	X	X	X	0.13 – 0.27
Tiwari (2000)	Bombay	1987-1988	Régression	ville	enquête ménages de l'Autorité de développement régional métropolitain de	E	6358	X	X		

					Bombay						
Filippini et Pachauri (2004)	India	Un mois de consommation 1993-1994	Régression double logarithmique Log-log	National	Enquête nationale Enquête ou mesure	E	7499 (été), 12020 (hiver), 10067 (mousson)	X	X		0.50 Et 0.54
Ellegård et al (2011)	suède	Une journée ouvrable et une journée de weekend	Estimations par activités.	Ménages	Enquête réalisée par Statistics Sweden en 1996.	E	179 ménages 463 personnes	X		X	--
Raynaud et al (2015)	France	Facture 2009	Régression OLS (Ancova)	Ménages	questionnaire TNS Sofres commanditée par EDF	E+G+GPL+Bois+gasoil (agrégée)	420 maisons individuelles	X	X	X	0.696
Parker (2002)	Florida, US	2004	Régression simple et quadratique et série de temps	Ménages	Données collecter par compteurs toutes les 15 minutes. Durant 6 mois.	E	204 ménages		X	X	0.7 et 0.8
Vassileva (2012)	Suède	2004-2009,	Régression	Ménages	Compteur intelligent et questionnaire.	E	536	X	X	X	--
Leahy et al (2009)	Irland	2004-2005	Régression logistique	Ménage	estimée à partir de anonymised 2004/05 Household portant sur les dépenses des ménages	E + autres	6884	X	X	X	--
Chen et al (2013)	Chine	Mars et août 2010	Régression	Ménage	Questionnaire	E	642 été 838 hiver	X	X	X	R ² = 0.288
Hamilton et al (2013)	UK	Donnée annuelle (2004-2007)		Nationale (ménages agrégée)	Obtenue du département d'énergie et de changement climatique.	E+G	11 millions		X		
Hosgor et Fischbeck (2015)	Florida (US)	Estimée à partir de la méthode degrés jour	Régression	Ménages	Obtenue de la municipalité de Gainesville (Florida).	E+G	5243	X	X		R ² =0.69 pour le Gaz et 0.52 pour l'électricité
Santamouris et al (2007)	Athènes, Grèce	2004	Régression	Ménages dans le grand Athènes	Questionnaire	variable	1110	X	X	X	--
Carter et al (2011)	Barbade	1997	Régression	Ménages	Questionnaire (enquête consommation résidentielle)	E	130 (0.2%)	X		X	0.85
Dall'O et al (2012)	Italie	Estimations	Régression	Quartier	Estimé selon le standard européen	E	500		X		0.781-0.884

Avec **E** : Electricité, **G** : Gaz. **FSE** : facteurs socio-économique, **FB**, facteurs liés aux bâtiments, **FEE** : facteur liés aux équipements ménagers

3.2. Etudes liées aux effets de l'environnement bâti sur la demande énergétique

3.2.1. Facteurs agissant sur la demande énergétique à l'échelle macro

L'impact des facteurs agissant sur la consommation d'énergie à l'échelle macro est synthétisé dans le tableau ci-dessous, comprenant principalement les facteurs suivant : le prix de l'énergie, les conditions météorologiques, la taille des villes et la densité urbaine.

Tableau 3- 3: Etudes d'impact des facteurs agissant à l'échelle macro sur la demande énergétique, recensement élaboré par S. Boukarta

Facteurs	Nombre d'études incluant le facteur étudié	Corrélation positive	Corrélation négative	Corrélation insignifiante
Prix de l'énergie	Blázquez et al (2012), Bedir et Kara (2017), Druckman et Jackson (2008), Zhou et teng (2013), Tiwari (2000), Filippini et Pachauri (2004), Santamouris et al (2007), Carter et al (2011)		Blázquez et al (2012), Bedir et Kara (2017), Druckman et Jackson (2008), Zhou et teng (2013), Tiwari (2000), Filippini et Pachauri (2004), Santamouris et al (2007)	Carter et al (2011)
Conditions météorologique	Blázquez et al (2012), Boulaire et al (2013), Kavousian et al (2013), Brounen et al (2011), Zhou et teng (2013), Raynaud et al (2015), Vassileva (2012), Leahy et al (2009)	Blázquez et al (2012), Boulaire et al (2013), Kavousian et al (2013), Brounen et al (2011), Zhou et teng (2013), Raynaud et al (2015)		Kavousian et al (2013), Vassileva (2012), Leahy et al (2009)
Taille des villes	Blázquez et al (2012), Filippini et Pachauri (2004), Boulaire et al (2013)	Blázquez et al (2012), Filippini et Pachauri (2004), Boulaire et al (2013)		
Densité urbaine	Raynaud et al (2015), Salat (2001), Holden et Norland (2005), Steadman (1979), Larivière et al (2009), Hui (2001), Erik et al (2016), Pitt (2012a), Pitt (2012b), Boukarta et Berezowska-Azzag (2017)	Steadman (1979), Larivière et al (2009), Hui (2001)	Salat (2001), Holden et Norland (2005), Erik et al (2016), Pitt (2012a), Pitt (2012b), Boukarta et Berezowska-Azzag (2017)	Raynaud et al (2015)

a. Prix de l'énergie

Cefacteur est considéré comme très important dans la formulation des politiques énergétiques. A travers plusieurs études, Blázquez et al (2012), Bedir et Kara (2017), Druckman et Jackson (2008), Zhou et teng (2013), Tiwari (2000), Filippini et Pachauri (2004), Santamouris et al (2007), nous découvrons que l'impact de prix de l'énergie se révèle inversement proportionnel sur la consommation énergétique. Plus le prix de l'énergie augmente moindre sera la consommation. Cette conclusion est d'autant plus vérifiée pour les politiques mono-tarifaires, alors que pour une politique qui se base sur l'ajustement selon le revenu et la consommation d'énergie, elle peut parfois rendre nul l'effet de cette politique.

b. Conditions météorologiques

A travers plusieurs études : Blázquez et al (2012), Boulaire et al (2013), Kavousian et al (2013), Brounen et al (2011), Zhou et teng (2013) et Raynaud et al (2015), leurs impacts'est révélé proportionnel avec l'agressivité du climat, plus le climat est agressif (plus de froid ou de chaleur) plus

la consommation d'énergie augmente pour arriver à la zone du confort. Cette vulnérabilité aux conditions climatiques est aussi expliquée par le type d'habitation, et la qualité d'isolation des murs extérieurs, ainsi que le type de vitrage. Ces paramètres seront discutés ci-après. Kavousian et al (2013), à travers les données collectées par des compteurs intelligent à enregistrement par intervalle de 10 minutes portant sur 1128 habitations aux Etats Unis, ont découvert trois tendances de consommation : minimale, moyenne et maximale et pour chaque tendance, des paramètres spécifiques viennent expliquer leur survenue. Les mêmes auteurs ont trouvé insignifiant l'impact des conditions météorologiques dans les modèles développés et qui ont une capacité d'explication allant de 0.43 à 0.68 (valeur de R^2). D'autres paramètres liés aux bâtiments, l'occupant et aux appareils ménagers expliquent les variations de la consommation d'énergie. Vassileva (2012) et Leahy et al (2009) sont arrivés aux mêmes conclusions, rendant la variation des données météorologiques sans effets.

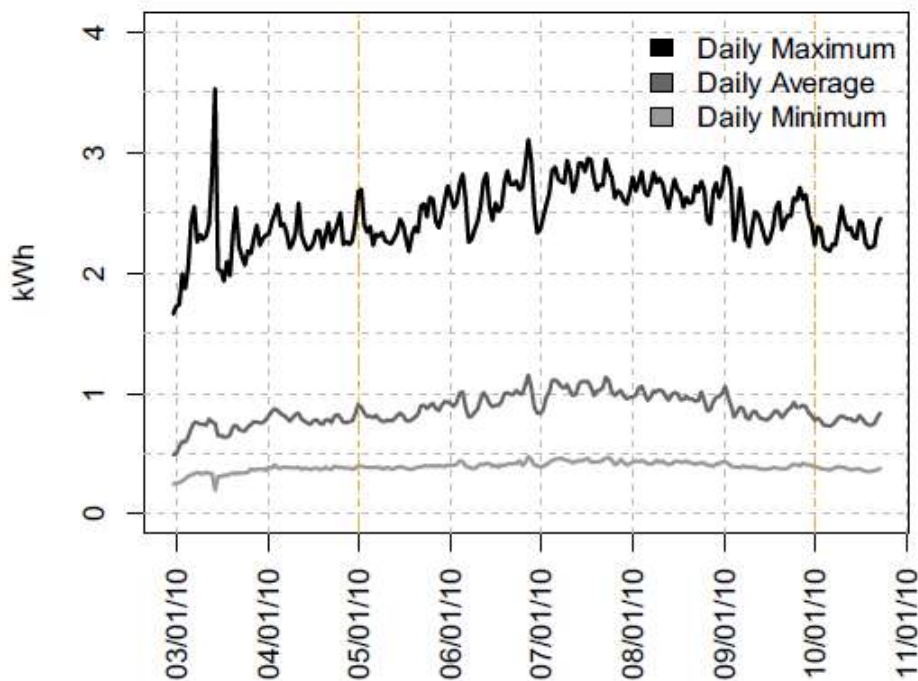


Fig 3- 2: Décomposition de la consommation d'électricité en trois types : maximum, minimum et moyens. Kavousian et al (2013)

c. Taille des villes

Ce facteur, exprimé en nombre de population, a fait l'objet d'étude de Blázquez et al (2012), Filippini et Pachauri (2004) et de Boulaire et al (2013). Tous les auteurs indiquent une corrélation positive entre la taille des villes et la consommation d'énergie. Il est cependant nécessaire de pondérer cet indicateur avec la densité, exprimée parfois comme densité du bâti et parfois comme densité en termes de population. **La densité urbaine** est sujette de controverse dans la littérature scientifique. Salat (2011) indique que pour les villes plus denses, comme Paris et Hong Kong, la consommation d'énergie du bâtiment diminue. Holden et Norland (2005) ont trouvé la même conclusion à Oslo, en Norvège, mais Steadman (1979) a montré une logique contraire en déclarant qu'avec une densité plus élevée, la demande d'énergie due à la mobilité diminue, alors qu'elle augmente pour les bâtiments. Dans la même logique, Hui (2001) et Larivière (2009) montrent la même corrélation : avec une densité plus faible, la demande énergétique des bâtiments diminue, alors qu'elle augmente pour la mobilité, et ils prévoient que si nous augmentons trois fois la densité de population pour une ville

de 1000 habitants/km², la consommation d'électricité serait réduite de 7%. D'autre part, Steemer (2003) montre un scénario contrasté basé sur l'utilisation du bâtiment. Pour les bâtiments résidentiels, il conclut que la consommation d'énergie est équilibrée entre les avantages des pertes de chaleur et les avantages de la réduction du gain solaire et de la disponibilité de la lumière du jour. Mais, pour les immeubles de bureaux, la densité accrue stimule la consommation d'énergie en raison de la disponibilité réduite de la lumière du jour. De plus, en densité plus élevée, le potentiel de la ventilation naturelle diminuera et l'utilisation du climatiseur augmentera. Cette corrélation positive entre la densité et l'énergie déclarée par Steadman et Hui pourrait être rapportée à l'emplacement climatique des villes étudiées, qui présente plus de HDD (*heating degree day*) que de CDD (*cooling degree day*), où un gain solaire peut réduire la consommation de l'énergie. Moins de densité peut augmenter les gains solaires, ce qui correspond aux résultats de Steadman et Hui. Erik et al (2016), qui constatent que la densité et la hauteur des bâtiments sont corrélées et que la densité optimale réduisant la consommation d'énergie est observée à la valeur de 1320 hab / ha, avec des hauteurs des bâtiments dans une fourchette comprise entre 7 et 27 étages. Dans le même ordre d'idées, Pitt (2012a), en se basant sur le recensement américain de 2000 et 2005-2009, trouve à Blacksburg qu'une densité urbaine plus élevée peut réduire de 35,5% les émissions de GES par rapport à la densité urbaine basse. Dans une étude similaire sur dix régions métropolitaines de Virginie, Pitt (2012b) constate que la densité urbaine peut réduire les émissions de GES d'environ 23%. Ainsi, Boukarta et Berezowska-Azzag (2017), ont trouvé une corrélation négative entre la densité de population et la consommation du gaz comme de l'électricité dans la wilaya d'Alger. Enfin, Raynaud et al (2015) et pour le cas français, ont trouvé que densité urbaine n'a pas d'effet sur la demande énergétique des ménages. L'examen de l'échantillon choisi nous montre une répartition non paritaire entre la zone urbaine, et la zone rurale qui, elle, se trouve représentée avec près de 70% dans l'échantillon ; une approche analytique utilisant les variables dichotomiques (*dummy variables*) aurait pu révéler l'impact de la densité urbaine sur la demande énergétique. Nous constatons donc à travers la littérature scientifique, que l'impact de la densité urbaine sur la demande énergétique des ménages doit être considéré avec précaution et que les volets bâtiment et mobilité des ménages considérés conjointement donneront plus de clarté sur l'impact de la densité urbaine.

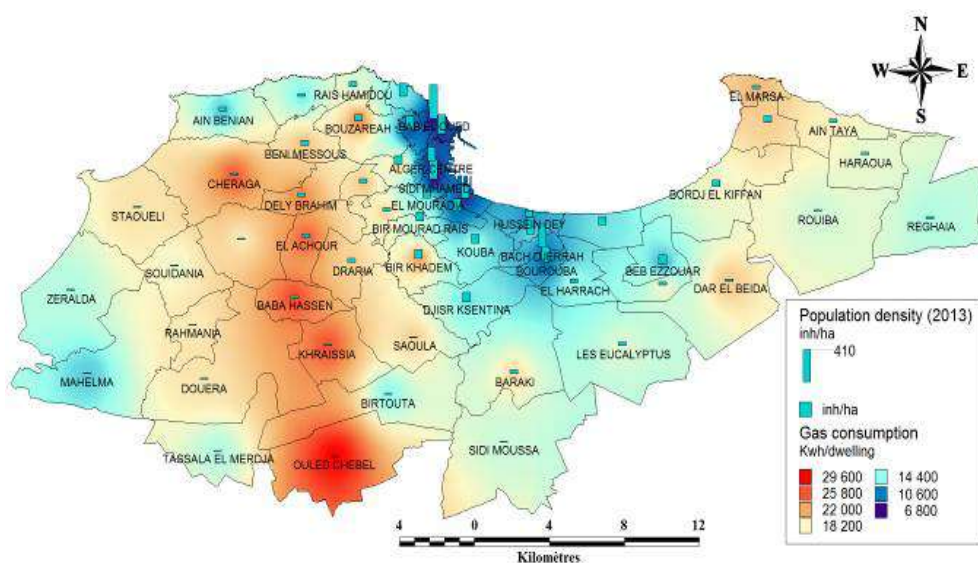


Fig 3- 3: Densité de population et consommation du gaz pour la wilaya d'Alger. Source : Boukarta et Berezowska-Azzag (2017-a).

3.2.2. Impact des caractéristiques des bâtiments sur la demande énergétique

Les caractéristiques des bâtiments peuvent faire varier la demande énergétique des bâtiments d'un facteur deux (Steemer et al : 2003, Salat : 2011 et Gram-Hanssen : 2011). Le tableau ci-dessous reprend en synthèse les corrélations des paramètres liés au bâtiment et qui peuvent être regroupés en quatre catégories : ceux portant sur la forme, sur l'enveloppe et sur l'environnement et ceux liés au type de logement.

Tableau 3- 4: Etudes d'impact du type d'habitation sur la consommation de l'énergie. Source : recensement réalisé par S. Boukarta

facteurs	Nombre d'étude incluant le facteur étudié	Corrélation positive	Corrélation négative	Corrélation insignifiante
Habitat collectif	Kavousian et al (2013), Vassileva (2012), Leahy et al (2009)		Kavousian et al (2013), Vassileva (2012), Leahy et al (2009)	
Maison individuelle	Vassileva (2012), Leahy et al (2009),	Vassileva (2012), Leahy et al (2009)		
Maison détachée (taux de mitoyenneté)	Kavousian et al (2013), Brounen et al (2011), Raynaud et al (2015), Singh et al (2013), Leahy et al (2009), Santamouris et al (2007)	Kavousian et al (2013), Brounen et al (2011), Singh et al (2013), Raynaud et al (2015), Santamouris et al (2007),		Leahy et al (2009)

a. Type d'habitation

Cette caractéristique a été considérée comme un facteur potentiel dans plusieurs études sur la consommation d'énergie. Dans certains pays, le parc immobilier national est représenté par le type d'habitation ce qui permet d'étudier certains paramètres et les généraliser au parc existant, comme c'est le cas pour la France (Maizia et al : 2011) ou l'Angleterre (EEP), par approche d'ingénierie. La demande énergétique a été caractérisée dans ces études en se basant sur une batterie d'indicateurs tout en fixant l'impact de l'occupant, pour n'apprécier que le volet morphologique de la problématique. Par contre, et selon l'approche historiciste ou statistique, le type de logement est souvent utilisé comme indicateur représentant la compacité des habitations, en évoquant le nombre de face détachée et/ou la surface des habitations. Selon la littérature scientifique, le type d'habitation collective consomme moins d'énergie que les maisons individuelles et ceci est dû à la différence de surface à chauffer ou à rafraîchir (Kavousian et al : 2013, Vassileva : 2012, Leahy et al : 2009). Selon le nombre de faces détachées des maisons, les maisons individuelles ayant le plus de facades détachées consomment plus d'énergie que les autres types (Kavousian et al : 2013, Brounen et al : 2011 : Singh et al : 2013, Raynaud et al : 2015, Santamouris et al : 2007). Mais selon certaines études, le taux de mitoyenneté peut ne pas avoir d'effet significatif sur la demande énergétique et ceci peut être expliqué par le nombre de chambres, la surface utilisée ou par le nombre de personnes par ménage (Leahy et al : 2009).

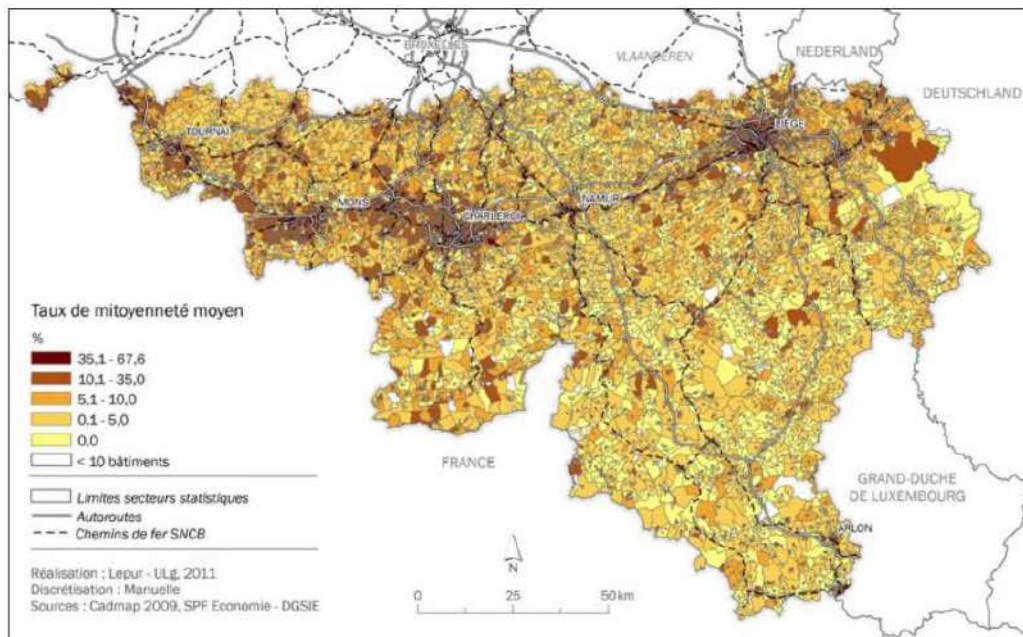


Fig 3- 4: Taux de mitoyenneté en Wallonie par secteur statistique. Source : Cadmap 2009, rapporté par Singh et al (2013).

Tableau 3- 5 : Etudes relatives à l'impact de la forme sur la consommation de l'énergie. Recensement réalisé par S.Boukarta

Facteurs	Nombre d'études incluant le facteur étudié	Corrélation positive	Corrélation négative	Corrélation insignifiante
Volume passif	Salat (2011), Ratti et al (2005)		Salat (2011), Ratti et al (2005)	
Nombre de niveaux	Raynaud et al (2015), Parker (2002), Hosgor et Fischbeck (2015),	Parker (2002), Hosgor et Fischbeck (2015, gas)		Raynaud et al (2015), Hosgor et Fischbeck (2015 elec)
Véranda	Raynaud et al (2015)			Raynaud et al (2015)
Compacité	Raynaud et al (2015), Salat (2011), Dall'O et al (2012)		Salat (2011), Dall'O et al (2012)	Raynaud et al (2015)
Hauteur sous plafond	Raynaud et al (2015),			Raynaud et al (2015)
Surface de logement	Keith et al (2008), Kavousian et al (2013), Brounen et al (2011), Zhou et teng (2013), Filippini et Pachauri (2004), Raynaud et al (2015), Parker (2002), Vassileva (2012), Leahy et al (2009), Chen et al (2013), Hosgor et Fischbeck (2015), Bedir et al (2013) Tso et Yau (2007), Bartiaux et Gram-Hanssen (2005),	Keith et al (2008), Kavousian et al (2013), Brounen et al (2011), Bartiaux et Gram-Hanssen (2005), Zhou et teng (2013), Filippini et Pachauri (2004), Raynaud et al (2015), Parker (2002), Leahy et al (2009), Chen et al (2013), Hosgor et Fischbeck (2015)		Vassileva (2012), Bedir et al (2013) Tso et Yau (2007)
Nombre de chambres	Keith et al (2008), Brounen et al (2011), Leahy et al (2009), Chen et al (2013), Hosgor et Fischbeck (2015), Carter et al (2011), Boulaire et al (2013)	Keith et al (2008), Boulaire et al (2013), Leahy et al (2009), Chen et al (2013), Hosgor et Fischbeck (2015), Carter et al (2011)	Brounen et al (2011), Hosgor et Fischbeck (2015)	

b. Forme des habitations

Elle est approchée par plusieurs indicateurs caractérisant la forme. Le plus utilisé est le facteur de compacité S/V qui indique la surface d'échange avec l'environnement extérieur. Il est admis que moindre sera le facteur de compacité, moindre sera la demande énergétique (Salat : 2011). Cependant, ce facteur doit être utilisé avec précaution et précisément dans deux cas : (i) en cas de comparaison entre deux volumes, il serait judicieux d'éliminer l'effet de taille en calculant le facteur de compacité comme $S/V^{2/3}$; (ii) dans les climats aride et semi-aride, où les amplitudes de température et la protection contre l'ensablement sont importantes, l'introduction des cours est très recommandée même si le facteur de compacité devient plus important. Ceci s'explique par le fait qu'à travers les cours, le régime du vent est de type « rasant », traversant la cours sans qu'il y ait d'échange avec le microclimat de la cour qui reste frais pendant les heures de la journée, et que pendant le soir, quand les températures baissent sensiblement, la chaleur emmagasinée dans les murs grâce à l'inertie des matériaux inverse l'échange vers l'intérieur de l'habitation. La compacité est d'autant plus significative que la qualité de l'enveloppe est faible (Dall'o et al : 2012) et elle perd sa signification devant une enveloppe isolée d'une façon optimale. La modélisation réalisée par Dall'O et el (2012)⁴⁹ effectuée par groupe d'âge de bâtiment confirme cette conclusion car la précision du modèle pour les bâtiments construits avant 1919 est près de 89%, tandis que le modèle perd près de 10 % pour les bâtiments construit entre 2007 et 2010. Salat (2011) corrobore cette corrélation négative entre le facteur de compacité et la demande énergétique, tandis que Reynaud et al (2015) ont trouvé que la compacité n'est pas significative. Ceci peut être expliqué par le fait que les auteurs ont considéré un nombre important d'indicateurs, 38 variables dans le modèle, alors qu'une introduction « par catégorie » de la compacité (variables dichotomiques ou ordinales) aurait permis de déceler l'impact de la compacité sur un des types d'habitations considérée dans l'étude. Aussi, les effets indirects dans cette étude n'ont pas été explorés.

c. Volume passif

C'est un autre indicateur permettant de prédire les zones qui, potentiellement, peuvent être chauffées, rafraichies et éclairées naturellement. Le volume passif est calculé comme le volume représentant la profondeur de deux fois la hauteur de l'habitation, souvent considéré comme 6 mètres. Plus la zone du volume passif est importante, moindres seront les consommations d'énergie. Ratti et al (2005) ont confirmé avec des cas d'étude à Berlin, Toulouse et Londres le potentiel d'économie d'énergie que peut produire le volume passif.

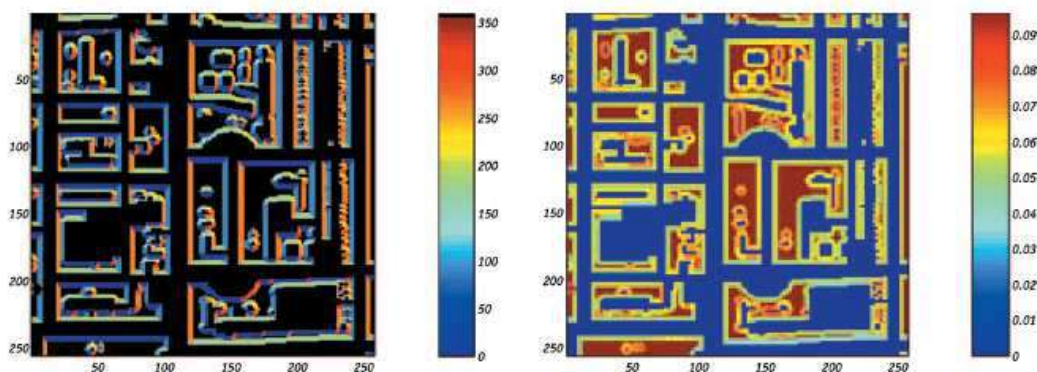


Fig 3- 5 : Estimation de la demande énergétique ventilée par les variations du volume passif à Londres. Ratti et al (2005).

⁴⁹ La collecte des données de la demande énergétique s'est faite par estimation et non par collecte des données réelles de consommation.

d. Nombre de niveaux

Il est aussi souvent considéré dans les études, parfois seul et parfois combiné avec la densité urbaine (Erik et al : 2016). Le nombre de niveaux est positivement corrélé avec la consommation d'énergie, plus le nombre des niveaux augmente plus grande sera la consommation d'énergie (Parker : 2002, Hosgor et Fischbeck : 2015). Ceci peut être expliqué par la réduction du potentiel solaire ce qui augmentera la demande de l'énergie pour le chauffage et ceci est d'autant plus ressenti quand l'énergie utilisée pour le chauffage est autre que l'électricité, comme c'est le cas pour les Etats-Unis (Hosgor et Fischbeck : 2015). Par contre, quand l'énergie utilisée est la même (Raynaud et al : 2015) pour le chauffage et la climatisation, l'effet de la hauteur devient non significatif sur la demande énergétique, car d'autres consommations se joindront à la consommation de l'électricité utilisée pour le chauffage. Et voilà que Hosgor et Fischbeck ont trouvé que la hauteur a un impact sur la consommation de gaz et non pour l'électricité (Hosgor et Fischbeck : 2015). Une désagrégation des données de consommation d'énergie par poste de consommation devient nécessaire pour déceler l'impact de la hauteur sur la consommation d'énergie.

e. Normes architecturales

Certains détails architectoniques sont rarement considérés dans les approches statistiques. L'utilisation des vérandas par exemple et la hauteur sous plafond se sont révélées sans effet sur la demande énergétique en France (Raynaud et al : 2015).

f. Surface des habitations

C'est un déterminant très utilisé dans les études portant sur la consommation d'énergie. La plupart des études, comme par exemple Keith et al (2008), Kavousian et al (2013), Brounen et al (2011), Bartiaux et Gram-Hanssen (2005), Zhou et teng (2013), Filippini et Pachauri (2004), Raynaud et al (2015), Parker (2002), Leahy et al (2009), Chen et al (2013) et Hosgor et Fischbeck (2015), spécifient que la surface de l'habitation est positivement corrélée avec la consommation d'énergie et ces résultats confirment les considération intuitives. Par contre Vassileva (2012), Bedir et al (2013) Tso et Yau (2007) ont trouvé une corrélation non significative entre la consommation d'énergie et la surface de l'habitation. Les auteurs expliquent ce résultat par la « surface utile » ou effective, utilisée par les habitations et par le phénomène de partage des appareils ménagers.

g. Nombre de chambres par habitation

Ce facteur vient comme un déterminant complémentaire à la surface des habitations et peut donner davantage d'explication une fois corrélé avec la propriété des appareils ménagers (Chen et al : 2013). De même que pour la surface des habitations, Keith et al (2008), Boulaire et al (2013), Leahy et al (2009), Chen et al (2013), Hosgor et Fischbeck (2015) et Carter et al (2011) ont trouvé que la consommation d'énergie augmente proportionnellement avec le nombre de chambres. En contraste avec ce résultat, Brounen et al (2011) et Hosgor et Fischbeck (2015) ont trouvé que le nombre de chambres réduit la consommation d'électricité et ceci est dû au phénomène de partage des appareils ménagers et le taux d'occupation par chambre. En d'autres termes, le nombre de chambres est à considérer comme un déterminant indirect (Chen et al : 2013).

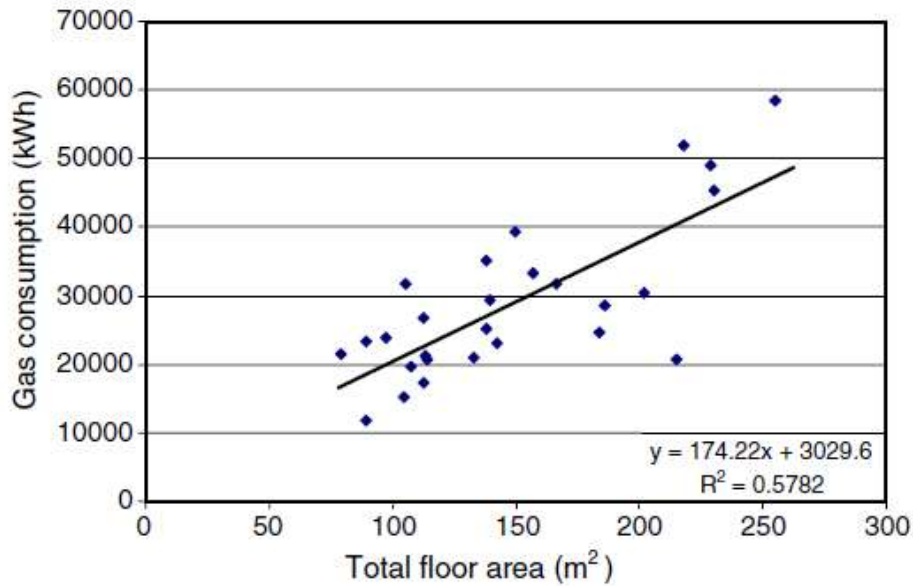


Fig 3- 6 : régression linéaire de la consommation du gas par rapport à la surface d'étage. Source : Keith et al (2008)

3.2.3. Impact de l'enveloppe des habitations sur la demande énergétique

a. Qualité de l'enveloppe

Ce facteur joue un rôle important dans l'explication de la demande énergétique. L'isolation comprend les murs, les fenêtres et la toiture. Dans la plupart des cas, le parc immobilier caractérise rarement la qualité de l'enveloppe dans le registre cadastral, ce qui pousse les chercheurs qui introduisent la qualité de l'enveloppe dans le modèle expliquant la consommation d'énergie à l'échelle urbaine, à introduire **l'âge du bâtiment** comme indicateur de la qualité de l'enveloppe, car il est admis que l'isolation de l'enveloppe est faible pour les bâtiments construits avant l'apparition de la réglementation thermique. Brounen et al (2011), au Pays-Bas, ont trouvé que la consommation de l'électricité augmente dans les bâtiments récents, car les taux d'équipement les plus élevés sont remarqués dans les habitations récentes. Alors que les mêmes auteurs ont trouvé que la consommation du gaz diminue sensiblement dans les habitations nouvelles, ce qui est dû à l'amélioration de l'isolation des bâtiments sous l'effet de la réglementation thermique. Le même contraste en terme d'effet a été constaté par Hosgor et Fischbeck (2015) mais inversement, car le climat de la Floride est tropical et la température extérieure est quasi uniforme pendant l'année, ce qui explique la faible corrélation positive avec la consommation du gaz (0.03) et la corrélation non significative avec la consommation de l'électricité⁵⁰. Singh et al (2013), Raynaud et al (2015), Parker (2002) et Leahy et al (2009) ont trouvé que l'âge du bâtiment est négativement corrélé avec la consommation de l'énergie et ceci est attribué à l'amélioration de l'isolation ainsi que l'usage des appareils ménagers plus efficaces énergétiquement. Par contre, Kavousian et al (2013) ont trouvé une corrélation non significative de l'âge du bâtiment sur la consommation de l'électricité car la qualité de l'enveloppe a été améliorée sous l'effet de l'isolation imposée par la réglementation thermique. De même pour Hosgor et Fischbeck (2015), mais l'explication est plus attribuée aux conditions météorologiques qu'à l'âge du bâtiment.

⁵⁰ La demande de l'énergie pour le chauffage et le rafraîchissement est estimée par la méthode des degrés jours unifiés ce qui relativise l'impact de l'occupant.

b. Type de vitrage

L'impact du type de vitrage est reconnu comme négativement corrélé avec la consommation énergétique (Kavousian et al : 2013, Parker : 2002, Santamouris et al : 2007). Raynaud et al (2015) ont trouvé que le type de vitrage a un effet non significatif sur la consommation d'énergie en France. Les auteurs expliquent ce résultat par le fait que le modèle statistique n'a pas introduit le double vitrage comme indicateur significatif à cause de la multicollinéarité des variables qui se manifeste davantage dans les petits échantillons. Leahy et al (2009) ont trouvé qu'en Irlande, les fenêtres de type double vitrage n'ont aucun effet sur la consommation de l'électricité, mais l'impact est négatif une fois corrélé avec les autres types d'énergie utilisés pour le chauffage.

c. Isolation des murs et des toits

L'isolation des murs est un facteur incontournable affectant la consommation d'énergie, spécifiquement dans les climats tempérés. Brounen et al (2011) aux Pays-Bas et Raynaud et al (2015) en France ont trouvé que la qualité de l'isolation permet de réduire les consommations d'énergie. Ainsi, pour l'isolation des toits, Parker (2002) a trouvé qu'une forte isolation permet de réduire les charges de climatisation. Par contre, pour le cas Français, Raynaud et al (2015) et Cavailhes et al (2011) affirment que l'isolation des toits n'a pas d'effet significatif sur la consommation d'énergie. Ce résultat est contraire au résultat attendu par simulation, car il est reconnu que la part la plus importante des déperditions se fait par les toits, avec plus de 30% des déperditions (DTR C2-3). Raynaud et al (2015) n'ont pas expliqué ce résultat, par contre, Cavailhes et al (2011) attribuent l'apport non significatif de l'isolation du toit à la difficulté qu'il y a à renseigner certaines variables.

Tableau 3- 6: Etudes sur les effets des déterminants de l'enveloppe sur la consommation de l'énergie. Source : Recensement réalisé par S. Boukarta

facteurs	Nombre d'étude incluant le facteur étudié	Corrélation positive	Corrélation négative	Corrélation insignifiante
Age de logt	Kavousian et al (2013), Brounen et al (2011), Singh et al (2013), Parker (2002), Leahy et al (2009), Hosgor et Fischbeck (2015), Hosgor et Fischbeck (2015)	Brounen et al (2011, ele), Hosgor et Fischbeck (2015, gas)	Brounen et al (2011), Singh et al (2013), Raynaud et al (2015), Parker (2002), Leahy et al (2009).	Kavousian et al (2013), Hosgor et Fischbeck (2015)
Type de vitrage	Kavousian et al (2013), Raynaud et al (2015), Parker (2002), Leahy et al (2009), Santamouris et al (2007)		Kavousian et al (2013), Parker (2002), Santamouris et al (2007), Leahy et al (2009).	Raynaud et al (2015), Leahy et al (2009)
Isolation des murs	Brounen et al (2011), Raynaud et al (2015)		Brounen et al (2011), Raynaud et al (2015)	
Isolation du toit	Raynaud et al (2015), Parker (2002)	Parker (2002)		Raynaud et al (2015)

3.3. Impact des facteurs socio-économiques sur la consommation de l'énergie

D'après Dall'O (2012), l'occupant peut faire varier la consommation d'énergie par un facteur 2 et pour Gram-Hanssen (2011) les caractéristiques des ménages pourront faire varier la consommation d'énergie par un facteur 3 pour des habitations conçues et réalisées dans le cadre de la même réglementation thermique. Les données socio-économiques traités dans la littérature scientifique peuvent être regroupées comme suit : le revenu, l'occupation des habitations, le genre, l'âge, le statut juridique de l'habitation et l'aspect culturel.

Le **revenu** est parmi les déterminants de la consommation d'énergie qui revient le plus dans les études. D'après Blázquez et al (2012), Boulaire et al (2013), Druckman et Jackson (2008), Brounen et al (2011), Bartiaux et Gram-Hanssen (2005), Zhou et teng (2013), Tiwari (2000), Filippini et Pachauri (2004), Vassileva (2012), Leahy et al (2009), Chen et al (2013), l'effet du revenu est positif sur la consommation de l'énergie et tend à la réduire globalement, mais les ménages ayant des revenus élevés échappent à cette règle générale.

Tableau 3- 7 : Etudes de l'impact du revenu sur la consommation de l'énergie. Source : Recensement réalisé par S.Boukarta.

facteurs	Nombre d'étude incluant le facteur étudié	Corrélation positive	Corrélation négative	Corrélation insignifiante
Revenu	Blázquez et al (2012), Bedir et Kara (2017), Druckman et Jackson (2008), Brounen et al (2011), Zhou et teng (2013), Tiwari (2000), Filippini et Pachauri (2004), Raynaud et al (2015), Vassileva (2012), Leahy et al (2009), Chen et al (2013), Santamouris et al (2007), Carter et al (2011)	Blázquez et al (2012), Boulaire et al (2013), Druckman et Jackson (2008), Brounen et al (2011), Bartiaux et Gram-Hanssen (2005), Zhou et teng (2013), Tiwari (2000), Filippini et Pachauri (2004), Vassileva (2012), Leahy et al (2009), Chen et al (2013)	Santamouris et al (2007), Carter et al (2011)	Kavousian et al (2013), Raynaud et al (2015), Carter et al (2011)

Pour parer à ce comportement lié au revenu, certain pays ont procédé à une tarification par palier de consommation et par revenu, comme c'était le cas en Barbade, mais la politique prônée s'est révélée sans effet car les économies réalisées par les ménages consommant plus de 1000 et de 1500 kWh se trouvent annulées par les ménages consommant le moins d'énergie, qui, sous l'avantage tarifaire qui leur a été donné par la nouvelle tarification, ont augmenté leur consommation (Carter et al : 2011). La même conclusion s'est dessinée avec Raynaud et al (2015), mais l'explication des auteurs est plutôt projetée sur le volet technique de l'approche. Les auteurs stipulent que le revenu est souvent utilisé comme un « proxy » des pratiques habitantes et que le fait que les pratiques et le revenu soit considérés conjointement dans le même modèle pourrait affecter considérablement l'impact du revenu. Les auteurs ont écarté le revenu de leur étude pour que les autres variables expriment leurs pleins effets dans le modèle. Kavousian et al (2013) ont aussi trouvé aux USA que le revenu n'a pas, statistiquement, d'effet sur la consommation d'électricité. Les auteurs expliquent cet écart avec la tendance générale par le fait que l'échantillon considéré pour l'étude ne comprend que des ménages ayant tous un revenu élevé. Toutes ces études nous montrent que le revenu faible à moyen permet de prédire une réduction dans la consommation d'énergie alors que les ménages à haut revenu tendent à consommer l'énergie sans se poser des limites.

3.3.1. Facteurs liés à l'occupation de l'habitation

a. Impacts liés à la nature de l'occupation

L'occupation des habitations est exprimée par plusieurs variables à travers la littérature, nous en avons trouvé par exemple le taux d'occupation par logement (TOL), le taux d'occupation par pièce (TOP), le temps passé à l'extérieur de l'habitation, la durée de présence dans l'habitation et dans les chambres. Hassanabadi et al (2012) ont testé l'importance de ce champ de recherche en comparant deux scénarios d'amélioration énergétique. Le premier adopte une approche structurelle, réalisée par la réduction du volume de chauffage et de rafraîchissement et l'augmentation de la surface vitrée. Le deuxième scénario a été interprété simplement en implémentant le logiciel avec l'occupation réelle de l'habitation. Les occupants ont utilisé le séjour plus que leurs chambres

pendant les journées ouvrables et inversement les weekends. Les résultats démontrent que le scénario structurel réduit la demande énergétique de 33%, tandis que le profil ajusté de l'occupant développe plus d'économies d'énergie, jusqu'à 71%. Sur la même lignée, Emery et Kippenhan (2006) ont réalisé une enquête sur quatre maisons identiques, pour laquelle deux scénarios ont été distingués : d'une part, en divisant les quatre maisons en deux paires, et d'autre part, le niveau d'isolation a été amélioré sur une paire et l'autre paire a été maintenue à son état original. Des familles ont ensuite occupé les habitations. Les résultats ont montré que la consommation d'énergie augmentait dans les habitations isolées et non isolée, avec une augmentation de consommation moindre dans les habitations isolées.

Tableau 3- 8 : Etudes des effets des facteurs liés à l'occupation de l'habitation. Source : Recensement réalisé par S.Boukarta

Facteurs	Nombre d'études incluant le facteur étudié	Corrélation positive	Corrélation négative	Corrélation insignifiante
Taille des ménages	Blázquez et al (2012), Bedir et Kara (2017), Druckman et Jackson (2008), Brounen et al (2011), Bartiaux et Gram-Hanssen (2005), Zhou et teng (2013), Filippini et Pachauri (2004), Raynaud et al (2015), Parker (2002), Vassileva (2012), Leahy et al (2009), Chen et al (2013), Hosgor et Fischbeck (2015), Carter et al (2011), Gram-Hanssen (2011), Kavousian et al (2013).	Bartiaux et Gram-Hanssen (2005), Zhou et teng (2013), Raynaud et al (2015), Parker (2002), Vassileva (2012), Leahy et al (2009), Hosgor et Fischbeck (2015)	Blázquez et al (2012), Druckman et Jackson (2008), Kavousian et al (2013), Brounen et al (2011), Gram-Hanssen (2005), Filippini et Pachauri (2004), Chen et al (2013), Gram-Hanssen (2011)	Carter et al (2011)
TOP	Bedir et Kara (2017)	Bedir et Kara (2017)		
Temps passé à l'ext	Bedir et Kara (2017)		Bedir et Kara (2017)	
Présence dans les chambres	Bedir et Kara (2017), Vassileva (2012)	Bedir et Kara (2017), Vassileva (2012)		
Occupation (temps passé à l'intérieur)	Bedir et Kara (2017), Keith et al (2008), Vassileva (2012)	Bedir et Kara (2017), Keith et al (2008), Vassileva (2012)		
Statut de l'occupation	Raynaud et al (2015), Leahy et al (2009)	Leahy et al (2009)	Leahy et al (2009)	Raynaud et al (2015), Leahy et al (2009)

b. Taille des ménages

La taille des ménages a été extensivement étudiée dans la littérature scientifique et est positivement corrélée avec la consommation d'énergie. Plus la taille de ménage augmente plus sera la consommation d'énergie. Cette tendance est confirmée par Bartiaux et Gram-Hanssen (2005), Zhou et teng (2013), Raynaud et al (2015), Parker (2002), Vassileva (2012), Leahy et al (2009), Hosgor et Fischbeck (2015). Les données utilisées dans les modèles est celle considérée pour tous les ménages, car si l'on modélise la consommation d'énergie en considérant la consommation d'énergie par personne l'impact de la taille des ménages s'inverse et devient négatif (Blázquez et al: 2012, Druckman et Jackson : 2008, Kavousian et al : 2013, Brounen et al : 2011, Bartiaux et Gram-Hanssen : 2005, Filippini et Pachauri : 2004, Chen et al : 2013, Gram-Hanssen : 2011). Gram-Hanssen (2011) spécifie que les grands ménages tendent à consommer moins d'énergie que les petits ménages. Toutefois, Carter et al (2011) ont trouvé que la taille des ménages n'a pas d'effet statistiquement significatif sur la consommation de l'électricité. Pour expliquer ce résultat, les auteurs ont trouvé

dans Halvorsen (1975)⁵¹ une explication qui consiste à dire que les ménages ayant un plus grand nombre de personnes peuvent substituer la consommation d'énergie électrique par l'utilisation du gaz naturel pour certaines exigences qui nécessiteraient beaucoup d'énergie.

c. Taux d'occupation par pièce (TOP)

C'est un facteur peu fréquent dans les études. Dans notre état de l'art, les pièces sont caractérisées par **le temps passé dans les pièces** pour refléter la possibilité d'usage des appareils ménagers qui s'y trouvent. Bedir et al (2017) aux Pays-Bas et Vassileva (2012) en Suède ont trouvé que plus le temps passé dans les chambre est important plus grande sera la consommation de l'électricité. Le temps passé dans les pièces exprime l'intensité d'usage des appareils ménagers. Aussi, Bedir et al (2017) Keith et al (2008) et Vassileva (2012) ont trouvé que le temps passé dans les habitations induit une augmentation dans la consommation de l'électricité. Keith et al (2008) ont trouvé que les occupants travaillant chez-soi constituent un indicateur positivement corrélé avec la consommation de l'électricité ($r^2=0.321$) et de gaz (0.468). Et dans la même lignée, mais inversement, Bedir et al (2017) ont trouvé que **le temps passé à l'extérieur** des habitations est intuitivement et statistiquement négativement corrélé avec la consommation de l'électricité.

d. Statut de l'occupation

Ce facteur s'est révélé comme un paramètre impactant la consommation d'énergie d'une façon contrastée. Leahy et al (2009) en Irlande ont trouvé que le statut de propriétaire n'a pas d'impact significatif sur la consommation du gaz et de l'électricité. Par contre les locataires payant leur loyer par une autorité locale ont tendance à consommer plus de gaz que les autres ménages. Alors que les ménages payant eux-mêmes les loyers consomment sensiblement moins de gaz. La consommation de l'électricité n'est donc pas vraiment liée au statut de l'occupation.

Les indicateurs cités dans le tableau *supra* sont utilisés comme proxy pour décrire l'intensité d'usage de l'énergie pour le chauffage, la climatisation ainsi que les appareils ménagers. Le temps passé à l'intérieur et/ ou à l'extérieur des habitations sont utilisés comme proxy reflétant le style de vie des ménages.

3.3.2. Impact de l'âge sur la consommation de l'énergie

L'âge des occupants dans les études de consommation résidentielle de l'énergie est souvent intégré par l'analyse du seul âge du responsable du ménage, car ce dernier a tendance à influencer la consommation d'énergie dans son ménage (Yohanis et al : 2008). L'âge des occupants s'est révélé important depuis les travaux de Fanger (1972)⁵², qui a démontré que la perception du confort thermique entre une personne âgée de 20 ans et 65 ans est d'environ 4,7 W / m². Ceci dit, les personnes âgées ont tendance à consommer davantage d'énergie. Ainsi, Bedir et Kara (2017), Brounen et al (2011), Bartiaux et Gram-Hanssen (2005) le cas de Danemark, Zhou et Teng (2013) et Raynaud et al (2015) ont trouvé une corrélation positive entre la consommation d'énergie et l'âge du responsable de ménage. Alors que Filippini et Pachauri (2004), Bartiaux et Gram-Hanssen (2005) pour

⁵¹ Halvorsen, R. (1975). Residential Demand for Electric Energy. *Review of Economics and Statistics*, 57 (1), 12-18.

⁵² Rapporté par Chen et al (2013)

le cas de la Belgique et Leahy et al (2009) ont trouvé une logique inversée, mais pour la consommation de l'électricité. Chen et al (2013) ont trouvé qu'en Chine, l'âge de l'occupant est plus important que le revenu et que les personnes âgées consomment moins d'électricité que les jeunes personnes. Les auteurs expliquent cette tendance par le prix bas de l'énergie en Chine, ce qui la rend accessible à toutes les catégories d'âge, et par l'usage des appareils électroménagers utilisés qui a tendance à baisser avec l'âge.

Tableau 3- 9 : Etudes des effets de l'âge sur la consommation de l'énergie. Source : Recensement réalisé par S.Boukarta

Facteurs	Nombre d'études incluant le facteur étudié	Corrélation positive	Corrélation négative	Corrélation insignifiante
Age HRP	Bedir et Kara (2017), Brounen et al (2011), Zhou et teng (2013), Raynaud et al (2015), Leahy et al (2009), Chen et al (2013), Bartiaux et Gram-Hanssen (2005), Filippini et Pachauri (2004), Boulaire et al (2013), Hosgor et Fischbeck (2015)	Bedir et Kara (2017), Brounen et al (2011), Zhou et teng (2013), Raynaud et al (2015),	Bartiaux et Gram-Hanssen (2005), Leahy et al (2009), Chen et al (2013), Filippini et Pachauri (2004)	Boulaire et al (2013), Bartiaux et Gram-Hanssen (2005).
Age moyen du ménage		Hosgor et Fischbeck (2015)	Hosgor et Fischbeck (2015)	
Moyenne des Adultes	Boulaire et al (2013), Hosgor et Fischbeck (2015)		Hosgor et Fischbeck (2015)	Boulaire et al (2013)
Moyenne d'enfant	Boulaire et al (2013), Hosgor et Fischbeck (2015)		Hosgor et Fischbeck (2015)	Boulaire et al (2013)
Individus 0-6	Bartiaux et Gram-Hanssen (2005), Gram-Hanssen (2011)		Bartiaux et Gram-Hanssen (2005), Gram-Hanssen (2011)	
Individus 6-12	Kavousian et al (2013), Raynaud et al (2015), Leahy et al (2009)	Brounen et al (2011)	Kavousian et al (2013), Raynaud et al (2015)	Leahy et al (2009)
Individus 13-18	Kavousian et al (2013), Brounen et al (2011), Bartiaux et Gram-Hanssen (2005), Gram-Hanssen (2011), Raynaud et al (2015), Leahy et al (2009)	Brounen et al (2011), Gram-Hanssen (2011),		Kavousian et al (2013), Bartiaux et Gram-Hanssen (2005)
Individus 19-35	Kavousian et al (2013), Filippini et Pachauri (2004), Raynaud et al (2015), Leahy et al (2009), Hosgor et Fischbeck (2015)		Kavousian et al (2013), Filippini et Pachauri (2004), Raynaud et al (2015)	Leahy et al (2009)
Individus 36-54	Kavousian et al (2013), Filippini et Pachauri (2004), Raynaud et al (2015), Leahy et al (2009)	Leahy et al (2009)	Kavousian et al (2013), Raynaud et al (2015), Filippini et Pachauri (2004)	
Individus 55-65	Kavousian et al (2013), Raynaud et al (2015)		Kavousian et al (2013)	Raynaud et al (2015)
Individus >65	Kavousian et al (2013), Raynaud et al (2015), Chen et al (2013).	Raynaud et al (2015)	Kavousian et al (2013), Chen et al (2013)	

Hosgor et Fischbeck (2015), en Floride, ont introduit dans le modèle l'âge moyen des occupants par ménage. Le modèle a montré une faible mais significative influence de l'âge moyen sur la consommation d'énergie. Plus l'âge moyen du ménage est élevé moindre sera la consommation de gaz, et inversement pour l'électricité qui a tendance à baisser avec l'âge moyen du ménage. Dans la même étude, le nombre des seniors par ménages impacte davantage la consommation en l'augmentant pour le gaz comme pour l'électricité. Par contre, le nombre d'adolescent par ménage est négativement corrélé avec la consommation de gaz et positivement corrélé avec la consommation de l'électricité.

Bartiaux et Gram-Hanssen (2005) ont trouvé qu'au Danemark plus le nombre d'enfants âgés de 0 à 6 ans augmente par ménage, moindre sera la consommation d'électricité. Mais l'impact est très faible par rapport aux autres déterminants, tels que la taille des ménages. Dans la même étude mais en Belgique, la consommation d'électricité n'est pas significativement corrélée avec le nombre d'enfant âgé de 0 à 9 ans par ménage. Ceci est dû au fait que les enfants n'utilisent pas encore des appareils consommant de l'électricité. Kavousian et al (2013) sont arrivés à la même conclusion aux USA : plus le nombre d'enfants âgés de 6 à 12 ans par ménage augmente, moindre sera la consommation d'électricité. Leahy et al (2009) ont trouvé que la même catégorie d'âge n'a pas d'effet significatif sur la consommation d'énergie, toute nature confondue. Alors que Brounen et al (2011) aux Pays-Bas ont trouvé que la présence des enfants âgés de 5 à 12 est positivement corrélée à la consommation de l'électricité et de gaz. Les auteurs ont remarqué que la consommation d'énergie par personne décroît avec l'arrivée des enfants et qu'elle reste stable jusqu'à ce que les enfants deviennent adolescents. Encore une autre fois, les auteurs corroborent la conclusion de Gram-Hanssen et spécifient qu'il y a une économie d'échelle dans la consommation d'énergie, car l'on remarque que pour chaque enfant ajouté, la consommation d'énergie pour le chauffage décroît de 23%. Brounen et al (2011), Gram-Hanssen (2011) ont trouvé qu'avec l'adolescence (de 13 à 18 ans), la consommation d'électricité croît avec le nombre d'enfants, une augmentation de l'ordre de près de 179 Kwh/an par adolescent. (Gram-Hanssen : 2011). Kavousian et al (2013) ont trouvé en revanche une très faible augmentation de la consommation d'énergie aux USA en rapport avec le nombre des enfants âgés de 13 à 18 ans. Alors que Bartiaux et Gram-Hanssen (2005) ont trouvé un résultat contrasté. Au Danemark, le nombre d'adolescent par ménage fait varier la consommation de l'électricité de plus de 117 kwh par an dans le cas des appartements et 159 à 179 kwh/an dans les maisons individuelles, alors qu'en Belgique, le nombre d'adolescents induit une réduction de la consommation de l'électricité mais cette corrélation n'est pas statistiquement significative, autrement dit, cette tendance ne peut pas être admise comme étant une règle en Belgique. Les auteurs n'expliquent pas le contraste observé entre les deux pays, mais probablement ce contraste peut être expliqué par la différence de représentativité de l'échantillonnage et le mode de collecte des données de consommation entre les deux pays.

Pour les individus âgés de 19 à 35, et de 36 à 54 ans, Kavousian et al (2013), Filippini et Pachauri (2004) et Raynaud et al (2015) ont trouvé que leur nombre par ménage est négativement corrélé avec la consommation de l'électricité. Les auteurs expliquent cette tendance par le fait que cette catégorie d'âge a tendance à avoir un emploi à plein temps, ce qui réduit sensiblement leur présence dans les habitations. Aussi, les auteurs ont trouvé que ces deux catégories d'âge, et en particulier celle de 19 à 35 ans, tendent à économiser l'énergie car leur revenu est inférieur comparé à celui des ménages seniors. Leahy et al (2009) ont trouvé que la consommation de l'électricité n'est pas statistiquement corrélée avec le nombre de personnes âgées de 35 à 44 ans. Les auteurs s'appuient sur le revenu pour expliquer cette conclusion. Les jeunes ménages disposent de moins de ressources financières et leur chance d'acquérir les appareils ménagers baisse. C'est pourquoi les mêmes auteurs, en Irlande, ont trouvé que les personnes âgées de 45-54 et 55-64 ans consomment davantage d'électricité que les autres ménages et ceci est expliqué par le revenu et l'acquisition des appareils ménagers. A partir de 65 ans et plus, les ménages tendent à consommer moins d'électricité que les autres ménages, et les auteurs expliquent cette tendance par l'usage réduit des appareils ménagers. Raynaud et al (2015) en France ont trouvé que les personnes âgées de 35 à 55 ans consomment moins d'énergie (toute nature confondue) que les autres ménages. Cette tendance

n'écarter pas le fait que cette même tranche d'âge a tendance à consommer davantage d'électricité. Mais le fait que le gaz est souvent utilisé pour le chauffage et que les auteurs ont introduit l'énergie sans distinction dans le modèle explique cette tendance qui semble de prime à bord inversée.

Kavousian et al (2013) aux Etats-Unis ont trouvé que nombre de personnes âgées de plus de 55 ans ont tendance à consommer moins d'électricité. La conscience quant à la manière d'utiliser l'énergie et l'usage réduit d'appareils consommant de l'électricité expliquent encore une fois, d'après les auteurs, cette corrélation négative. Raynaud et al (2015), ont trouvé qu'en France les personnes âgées de plus de 65 ans augmentent la consommation d'énergie. Ceci peut être expliqué par le fait que les auteurs ont agrégé toutes les consommations d'énergie, celle utilisée pour le chauffage (gaz) et la climatisation (électricité) et autres type d'énergies, que les sensibilités envers la consommation de telle ou telle énergie se trouvent cachées par la sensibilité à l'égard du confort thermique, comme l'explique Fanger (1972). Chen et al (2013) ont trouvé une corrélation négative pour les personnes âgées de plus de 65 ans. Les auteurs expliquent cette tendance par le prix de l'énergie qui est toujours faible en Chine, ce qui permet aux ménages jeunes de consommer davantage d'électricité que l'écart observé entre la consommation des ménages âgés et jeunes dans d'autres pays, tel que les Etats-Unis, Pays-Bas ou la France. Raynaud et al (2015) n'ont pas trouvé un effet statistiquement significatif des ménages ayant un responsable âgé entre 54 et 65 sur la consommation d'énergie, quoique leur fréquence dans l'échantillon dépasse les 30%. Ceci peut être expliqué par la nature du modèle développé qui considère l'énergie finale consommée, au lieu de l'énergie désagrégée.

A partir du développement présenté supra, l'âge de l'occupant influence la consommation de l'énergie de par les conditions du confort thermique qui baissent avec l'âge car le métabolisme produit moins de température, ce qui génère une demande d'énergie principalement pour le chauffage. L'occupation des occupants a tendance à réduire la consommation de l'énergie car moins présents dans les habitations. Et enfin, le prix de l'énergie peut inverser cette logique et permet à des ménages jeunes ayant moins de revenu de consommer davantage d'énergie dépassant même l'énergie consommé par les ménages âgés avec un revenu supérieur.

3.3.3. Impact de statut de l'occupation sur la consommation d'énergie

Que l'occupant d'habitation soit locataire ou propriétaire, il impacte la consommation d'énergie. Intuitivement, les locataires ont tendance à consommer moins d'énergie que les propriétaires. Boulaire et al (2013) en Australie sont arrivés à la même conclusion pour la consommation de l'électricité. Dans la même lignée, Leahy et al (2009) ont nuancé le statut de locataire par la source de financement, privé ou public. L'étude a démontré une corrélation négative avec la consommation de l'électricité pour les occupants locataires payant eux-mêmes les loyers et inversement pour les locataires dont le loyer est payé par une autorité publique. Cette conclusion propose l'usage de statut de l'occupation de l'habitation comme proxy de revenu. Les mêmes auteurs ont trouvé que le taux d'équipement par ménage est négativement corrélé avec le statut de l'occupation. Les locataires ont tendances à moins équiper les habitations que les propriétaires et ceci est dû, selon les auteurs, au temps limité à passer dans l'habitation louée et aussi à la contrainte financière provenant de loyer.

Vassileva (2012) en Suède a trouvé que le fait d'introduire les factures de consommation d'énergie dans le loyer ne permet pas de réduire la consommation d'énergie. Cette conclusion, quoiqu'en contraste avec la tendance et l'intuition, n'est considérée que pour les locataires à haut revenu car dans cette étude, l'auteur a considéré seulement les locataires à haut revenu. Au Pays Bas, Santin et al (2009) ont trouvé la même tendance sur un échantillon plus large. Les auteurs expliquent le fait que les locataires consomment davantage d'énergie que les propriétaires, en se référant à la qualité de l'enveloppe des habitations louées. Aussi, dans le cas où les consommations d'énergie sont incluses directement dans le loyer, les locataires consomment plus d'énergie.

Kavousian et al (2013) aux États-Unis et Leahy et al (2009) en Irlande, ont trouvé que le statut d'occupation des habitations n'a pas d'effet statistiquement significatif sur la consommation de l'électricité. Par contre, Leahy et al (2009) ont trouvé une corrélation nuancée si la corrélation est considérée seulement avec l'énergie utilisée pour le chauffage. Les locataires privés consomment moins d'énergie pour le chauffage que les locataires dont le loyer est payé par une autorité publique. Cette étude a mis en exergue l'importance de la désagrégation des données de consommation d'énergie par secteur pour expliquer la consommation d'énergie.

Leahy et al (2009) et Boulaire et al (2013) ont introduit le cas des titulaires d'hypothèque dans leurs études. Il en ressort que les titulaires d'hypothèque consomment plus d'énergie pour le chauffage que les ménages propriétaires. Boulaire et al (2013) ont trouvé que la consommation d'énergie des ménages n'ayant plus de créances à payer baisse. Les auteurs expliquent ce phénomène par l'hypothèse stipulant que ces ménages dépensent la somme de revenu supplémentaire sur des appareils plus récents ou plus efficaces ou sur des systèmes photovoltaïques installés sur leurs toits.

Tableau 3- 10 : Etudes d'impact de statut de l'occupation sur la consommation d'énergie. Source : Recensement réalisé par S.Boukarta.

Facteurs	Nombre d'études incluant le facteur étudié	Corrélation positive	Corrélation négative	Corrélation insignifiante
Locataire	Boulaire et al (2013), Vassileva (2012), Leahy et al (2009)	Leahy et al (2009), Vassileva (2012)	Boulaire et al (2013), Leahy et al (2009)	
Propriétaire	Kavousian et al (2013), Vassileva (2012), Leahy et al (2009)	Vassileva (2012)		Kavousian et al (2013), Leahy et al (2009)
Titulaire d'hypothèque	Leahy et al (2009), Boulaire et al (2013)	Leahy et al (2009), Boulaire et al (2013)		

3.3.4. Impact du genre et du statut civil des ménages sur la consommation d'énergie

Boulaire et al (2013), Hosgor et Fischbeck (2015) n'ont pas trouvé de corrélation significative statistiquement entre la moyenne du genre masculin par ménage et la consommation de l'électricité. Par contre, Hosgor et Fischbeck (2015) ont trouvé une corrélation négative. Plus la moyenne du genre masculin par ménage augmente, moindre sera la consommation du gaz. Inversement, Brounen et al (2011) ont trouvé que la fraction de la gente féminine par ménage est négativement corrélée avec la consommation de l'électricité et elle est positivement et faiblement corrélée avec la consommation du gaz. Les auteurs expliquent cette tendance par l'aspect culturel du pays considéré, les femmes ont tendance à cuisiner plus que les hommes au Pays-Bas. Cette différence se trouve aussi étayé par la différence de perception du confort thermique. Karjalainen (2012) spécifie dans sa

revue que la moitié des études ont montré que la gente féminine exprime plus d'insatisfaction que la gente masculine dans les mêmes environnements thermiques.

Sur la base du statut civil des ménages, Brounen et al (2011) ont trouvé que la consommation du gaz per personne est deux fois plus dans les mono-ménages jeunes et 31% dans les mono-ménages seniors en comparaison avec les ménages ayant plus de membres. Les auteurs expliquent cette tendance par la durée d'occupation des ménages, par les personnes âgées et par l'intensité d'usage des appareils ménagers. Les mêmes auteurs ont trouvé que les mono-ménages âgés consomment moins d'électricité que les autres ménages, car utilisant moins les appareils consommant de l'électricité. Inversement, Leahy et al (2009) en Irlande ont trouvé que les mono-ménages consomment moins d'énergie par personne (toute nature confondue) que les autres ménages. Les auteurs se réfèrent au taux d'équipement pour expliquer cette différence avec le cas des Pays-Bas. Les mono-ménages sont moins susceptibles de posséder des appareils ménagers.

Tableau 3- 11 : Etudes sur l'effet du genre et du statut civil sur la consommation de l'énergie. Source : Recensement réalisé par S. Boukarta

Facteurs	Nombre d'études incluant le facteur étudié	Corrélation positive	Corrélation négative	Corrélation insignifiante
Moy des masculin	Boulaire et al (2013), Hosgor et Fischbeck (2015)		Hosgor et Fischbeck (2015 gas)	Boulaire et al (2013), Hosgor et Fischbeck (2015 électric)
Femme comme chef de ménage	Brounen et al (2011)	Brounen et al (2011, Gas)	Brounen et al (2011, elec)	
Ménage célibataire	Brounen et al (2011), Leahy et al (2009)	Brounen et al (2011)	Leahy et al (2009)	
Ménage célibataire senior	Brounen et al (2011)		Brounen et al (2011)	

3.3.5. Impact de l'éducation, conscience et la trajectoire familiale sur la consommation d'énergie

L'impact du niveau d'éducation des ménages a fait l'objet de plusieurs études. Bedir et Kara (2017), Zhou et Teng (2013) et Leahy et al (2009) ont trouvé une corrélation positive entre le niveau d'éducation et la consommation de l'énergie et particulièrement pour l'électricité, car les ménages ayant le niveau d'éducation le plus élevé ont tendance à s'équiper et à utiliser davantage les appareils consommant de l'électricité. Bartiaux et Gram-Hanssen (2005) dans une étude comparative entre le Danemark et la Belgique ont trouvé que la consommation de l'électricité est statistiquement et négativement corrélée avec la consommation de l'électricité, mais son pouvoir explicatif est faible comparé au nombre de personnes par ménage. Les mêmes auteurs n'ont trouvé aucun effet significatif de niveau d'éducation sur la consommation de l'électricité en Belgique, même en considérant tous les types d'habitations. Les auteurs attribuent cette différence d'impact du niveau d'éducation entre les deux pays à la « conscience environnementale » qui semble être plus développée chez les danois que chez les belges. Cependant et à travers un questionnaire centré sur les raisons poussant les ménages à faire davantage d'effort pour économiser l'énergie, les auteurs n'ont pas trouvé un lien significatif entre le background environnemental des ménages et leurs consommation de l'électricité et concluent du fait qu'il y ait bien des raisons autres que le souci environnemental, pour expliquer les motifs de l'économie d'énergie. Dans la même lignée et pour expliquer davantage ce lien entre l'éducation et la consommation de l'énergie, il est à considérer la différenciation entre le niveau d'éducation et le background culturel centré sur les bonnes pratiques

portant sur les économies d'énergie. Ouyangand et Hokao (2009) ont étudié 124 maisons répertoriées en deux groupes. Le premier groupe a eu une formation sur les bonnes pratiques pouvant induire des économies d'énergie tandis que le second groupe, considéré comme référence, n'a eu aucune formation. Les résultats basés sur les mesures du mois de juillet 2008 ont montré une différence de 10% entre les deux groupes répertoriés.

Tableau 3- 12 : Etudes sur l'effet l'éducation, conscience et la trajectoire familiale sur la consommation d'énergie. Source : Recensement réalisé par S.Boukarta

Facteurs	Nombre d'étudesincluant le facteur étudié	Corrélation positive	Corrélation négative	Corrélation insignifiante
Education	Bedir et Kara (2017), Bartiaux et Bartiaux et Gram-Hanssen (2005), Zhou et teng (2013), Leahy et al (2009), Gram-Hanssen (2011).	Bedir et Kara (2017), Bartiaux et, Zhou et teng (2013), Leahy et al (2009)	Bartiaux et Gram-Hanssen (2005), Gram-Hanssen (2011).	Bartiaux et Gram-Hanssen (2005)
Sensibilité pour une économie d'énergie	Bartiaux et Gram-Hanssen (2005), Gram-Hanssen (2011), Vassileva (2012), Ouyang J & Hokao K, (2009).		Vassileva (2012), Ouyang J & Hokao K, (2009).	Bartiaux et Gram-Hanssen (2005), Gram-Hanssen (2011),
Trajectoire de ménage	Summerfield et al (2010)	Summerfield et al (2010)		

Vassileva (2012)a étudié la consommation de l'électricité en Suède sur la base d'un échantillonnage ciblant trois catégories de ménages : les ménages sans enfants ayant un revenu supérieur et habitant la même situation géographique (24 ménages) et équipé de compteur intelligent permettant d'afficher la consommation instantanée des appareils ménagers utilisés ; les ménages caractérisé par un revenu moyen à faible, habitant des logements et recevant une facture de consommation expliquant globalement leurs consommations ; la troisième catégorie est plutôt croisée comprenant des logements et maisons individuelles et, en plus des factures de consommation, les ménages sont informés sur la consommation d'énergie via le web (email et application). Le retour des questionnaires distribués est de 238 questionnaires soit 42% (19/24, 10/80, 197/432). L'usage du web s'est révélé comme le meilleur moyen de sensibilisation avec 17% d'économie d'énergie réalisé par les ménages habitants les logements. Les ménages les plus jeunes constituent la part la plus importante des ménages impactés via le mode « affichage » et les applications sur Smartphone, les ménages âgés préfèrent la voie classique des courriers comme moyen de sensibilisation. L'impact des compteurs intelligents a montré un moindre impact sur la consommation de l'électricité dans cette étude, car l'échantillonnage choisi ne porte que sur des ménages ayant un revenu supérieur. D'autres recherches, par contre, ont révélé l'importance des compteurs intelligents, mais l'auteur ajoute que cette tendance est plutôt freinée par la faible rentabilité. En d'autres termes, le temps de retour d'investissement est jugé long et les ménages ne s'intéressent pas au compteur intelligent. Cette information nous semble importante dans le contexte de la mise en place progressive en Algérie des compteurs intelligents par la Sonelgaz, notamment dans le cadre d'expérimentation des programmes locaux de Smart City, récemment adopté par certaines collectivités locales.

Par ailleurs, Bartiaux et Gram-Hanssen (2005) ont ajouté à leur étude l'impact de l'aspect culturel sur la consommation d'électricité. Les auteurs ont observé que pour une bonne partie (plus de 70% au Danemark et en Belgique) des ménages, leurs réponses semblent être portées par une conscience orientée vers l'économie d'énergie et le respect de l'environnement. Cependant, et à travers les analyses de régressions effectuées, l'aspect culturel s'est révélé sans impact significatif sur la

consommation d'énergie. Les auteurs mettent en exergue ce décalage en paraphrasant Martuccelli (2002 : 146) "*L'augmentation de la réflexivité des acteurs sociaux sur eux-mêmes va plus vite que leur capacité d'action*".⁵³

Summerfield et al (2010) ont suivi le développement de 15 logements à faible consommation d'énergie en Angleterre, avec une collecte de données de consommation entre 1989-199 et 2005-2006. Les résultats ont révélés l'apparition de trois groupes de ménages, faible consommateur, moyen consommateur et le gros consommateur. Les auteurs ont trouvé que les caractéristiques des ménages et logements ont changé dans les 15 ans séparant les deux dates de collectes de données en termes de surfaces, suite aux extensions, et en termes de données socio-économiques. Le changement du revenu pour le troisième groupe s'est effectué, au point où la somme des revenus des deux groupes est inférieure au revenu du dernier groupe. La consommation d'énergie s'est aussi développée avec le changement des ménages et leurs habitations. La consommation de l'électricité s'est trouvée plus impactée que la consommation du gaz. Aussi, d'après les résultats obtenus, les auteurs suggèrent que la recherche pour le développement de la politique énergétique et la réglementation de la construction devront se concentrer à la fois sur la manière dont l'énergie est actuellement utilisée et sur l'évolution potentielle des trajectoire-ménages pour que les plus grandes consommations d'énergie susceptibles de se produire puissent être prévues dans le temps et dans l'espace.

3.4. Facteurs liés aux équipements de l'habitation

3.4.1. Impact des appareils ménagers sur la consommation de l'énergie

La possession des appareils ménagers ont été intensivement considéré dans les études expliquant la consommation de l'énergie et notamment l'électricité. De prime abord, le taux d'équipement par ménages est corrélé au revenu, type d'habitation, la taille du ménage et le nombre de chambre (Leahy et al : 2009). La consommation d'énergie varie selon le nombre, l'usage et l'efficacité des appareils ménagers.

a. Propriété des appareils ménagers

Ce facteur a un impact contrasté. Intuitivement, le taux le plus élevé d'équipement par ménage induit une augmentation de la consommation d'énergie. Nielsen (1993) a montré au Danemark, qu'une augmentation de 1% d'appareils de ménage génère une augmentation de 1% de la consommation d'électricité. D'autre part, et sur la base des 12 types d'appareils, Carlson et al (2013)⁵⁴ expliquaient environ 80% de la consommation d'électricité dans les foyers américains, et avec 5 types d'appareils, les auteurs expliquaient environ 50% de la consommation électrique des ménages. Et Bedir et al (2013) ont montré qu'une variation de 21% de la consommation d'électricité des ménages aux Pays-Bas est fonction du nombre d'appareils. Gram-Hanssen (2011) au Danemark et Zhou et teng (2013) en Chine ont aussi trouvé une corrélation positive entre la consommation de l'électricité et le nombre d'appareils ménagers. Par contre, Raynaud et al (2015) ont trouvé que le nombre d'appareils ménagers n'a pas un effet statistiquement significatif sur la consommation de

⁵³ Martuccelli D. (2002), "Sociologie et posture critique", *À quoi sert la sociologie?*, B. Lahire (dir), ed. La découverte, Paris, pp. 137-154.

⁵⁴ Carlson, D. R., Matthews, H. S., & Bergés, M. (2013). One size does not fit all: Averaged data on household electricity is inadequate for residential energy policy and decisions. *Energy and Buildings*, 64, 132-144.

l'énergie. Les auteurs n'ont pas donné une explication, mais il semble que le fait d'avoir agrégé toutes les énergies utilisées par les ménages français en énergie finale d'un côté, et le fait d'avoir considéré globalement le taux d'équipement par ménage au lieu d'introduire chaque appareil comme facteur indépendant dans le modèle développé, a réduit à l'insignifiance l'impact des appareils ménagers. Bedir et Kara (2017) a introduit la densité d'appareils ménagers dans leur modèle et il s'en est aperçu qu'il suit la logique intuitive : plus le nombre d'appareils par pièce augmente, plus grande sera la consommation de l'électricité.

Tableau 3- 13 : Etudes des effets du nombre d'appareils ménagers sur la consommation de l'énergie. Source : Recensement par S.Boukarta

facteurs	Nombre d'études incluant le facteur étudié	Corrélation positive	Corrélation négative	Corrélation insignifiante
Nbr d'A-M	Bedir et Kara (2017), Gram-Hanssen (2011), Zhou et teng (2013), Raynaud et al (2015)	Bedir et Kara (2017), Gram-Hanssen (2011), Zhou et teng (2013)		Raynaud et al (2015)
Nombre de TVs	Keith et al (2008), Kavousian et al (2013), Bartiaux et Gram-Hanssen (2005), Gram-Hanssen (2011), Leahy et al (2009)	Keith et al (2008), Kavousian et al (2013), Bartiaux et Gram-Hanssen (2005), Gram-Hanssen (2011)		Leahy et al (2009)
NBR Pcs	Bartiaux et Gram-Hanssen (2005), Zhou et teng (2013), Leahy et al (2009), Keith et al (2008)	Bartiaux et Gram-Hanssen (2005), Zhou et teng (2013)		Leahy et al (2009)
Nombre de chauffage-électrique portatif	Keith et al (2008)	Keith et al (2008)		
Climatisation	Kavousian et al (2013), Zhou et teng (2013), Parker (2002), Chen et al (2013), Santamouris et al (2007), Carter et al (2011),	Kavousian et al (2013), Zhou et teng (2013), Parker (2002), Chen et al (2013), Santamouris et al (2007)		Carter et al (2011)
Machine à laver	Bartiaux et Gram-Hanssen (2005), Bedir et Kara (2017), Vassileva (2012), Leahy et al (2009), Carter et al (2011)	Bartiaux et Gram-Hanssen (2005), Bedir et Kara (2017), Vassileva (2012), Carter et al (2011)		Leahy et al (2009)
Lave vaisselle	Bedir et Kara (2017), Bartiaux et Gram-Hanssen (2005), Leahy et al (2009)	Bedir et Kara (2017), Bartiaux et Gram-Hanssen (2005), Leahy et al (2009)		
Nbr de réfrigérateur	Bartiaux et Gram-Hanssen (2005), Zhou et teng (2013), Leahy et al (2009), Carter et al (2011)	Bartiaux et Gram-Hanssen (2005), Zhou et teng (2013)		Leahy et al (2009), Carter et al (2011)
Freezer	Kavousian et al (2013), Leahy et al (2009), Carter et al (2011)	Kavousian et al (2013), Leahy et al (2009)		Carter et al (2011)
Chauffe-eau	Kavousian et al (2013), Raynaud et al (2015), Parker (2002), Leahy et al (2009), Carter et al (2011)	Kavousian et al (2013), Parker (2002), Leahy et al (2009)		Raynaud et al (2015), Carter et al (2011).
Séchoir de linge	Kavousian et al (2013), Bedir et Kara (2017), Gram-Hanssen (2011), Leahy et al (2009), Carter et al (2011)	Kavousian et al (2013), Bedir et Kara (2017), Gram-Hanssen (2011), Leahy et al (2009)		Carter et al (2011)
PV/solar	Bedir et Kara (2017), Carter et al (2011)			Bedir et Kara (2017), Carter et al (2011)
Lampe halogène	Bedir et Kara (2017)	Bedir et Kara (2017)		
Lamps BC	Bedir et Kara (2017), Kavousian et al (2013), Bartiaux et		Bedir et Kara (2017), Kavousian et al	Bartiaux et Gram-Hanssen (2005),

		Gram-Hanssen (2005), Gram-Hanssen (2011), Raynaud et al (2015)	(2013), Raynaud et al (2015)	Gram-Hanssen (2011)
Chargeurs de batterie	de	Bedir et Kara (2017)	Bedir et Kara (2017)	
Ventilation mécanique		Bedir et Kara (2017), Raynaud et al (2015)	Raynaud et al (2015 time)	Bedir et Kara (2017),

a. Nombre de TV par ménage

La TV constitue l'appareil ménager le plus répandu chez les ménages. Keith et al (2008), Kavousian et al (2013), Bartiaux et Gram-Hanssen (2005) et Gram-Hanssen (2011) ont tous trouvé que le nombre de TV par ménage génère une augmentation de la consommation de l'énergie. La mise en veille de la TV est un fait récurrent que les Bartiaux et Gram-Hanssen (2005) ont introduit pour le cas Belge et Danois. En moyenne, près de 30 % des répondants spécifient qu'ils ne débranchent jamais la TV. Alors que pour le cas danois, la mise en veille de la TV a un impact significatif sur la consommation de l'électricité. Leahy et al (2009) pour le cas irlandais, le nombre de TV par ménage n'a pas d'impact significatif sur la consommation de l'électricité.

b. Ordinateur

La possession de l'ordinateur s'est révélée en corrélation positive avec la consommation de l'électricité dans plusieurs études et pays, Bartiaux et Gram-Hanssen (2005) pour la Belgique et le Danemark où le taux de propriété des PC s'élève à 71% et 81% respectivement. Pour le cas danois, chaque 1 % davantage de PC par ménage provoque une augmentation de la consommation d'électricité de l'ordre de 0.62 à 1.37kWh/an et de 0.59 à 1.33 kWh/an pour le cas Belge. En Chine, le taux de possession des ordinateurs est de 50%. Zhou et Teng (2013) ont trouvé que les ménages possédant un ordinateur consomment 10% davantage d'électricité que les ménages sans ordinateur. Par contre, le nombre de PC en Irlande n'a pas d'effet significatif sur la consommation de l'électricité selon l'étude menée par Leahy et al (2009). Ceci peut être expliqué par la faible intensité d'usage des ordinateurs en Irlande.

c. Nombre de chauffages portatifs

Keith et al (2008) ont trouvé une corrélation faible mais significative entre la consommation de l'électricité et le nombre de chauffages électriques portatif. Aussi, il existe une corrélation positive entre le nombre de chambres et le nombre de chauffages électriques portatifs au Pays-Bas. Les auteurs proposent d'introduire le chauffage électrique dans la modélisation de la consommation d'électricité avec une recommandation d'introduire dans le modèle les chambres utilisées comme espace de travail, car leur occupation est autre que l'occupation d'une chambre à coucher.

d. Nombre de climatiseurs

Kavousian et al (2013), Zhou et teng (2013), Parker (2002), Chen et al (2013) et Santamouris et al (2007) ont tous trouvé une corrélation positive entre le nombre de climatiseurs par ménage et la consommation de l'électricité. L'intensité d'usage des climatiseurs est différente d'un pays à un autre et d'une catégorie d'âge à une autre. Chen et al (2013) ont trouvé que le nombre de climatiseur est corrélé au nombre de chambres d'un côté, alors que ce même nombre de chambres s'est révélé sans effet sur la consommation de l'électricité en Chine. Les auteurs ont avancé l'hypothèse d'un effet indirect du nombre des chambres sur la consommation de l'électricité. Pour la vérifier, les auteurs ont effectué une analyse de régression multiple (*path analysis*) et ont obtenu un modèle expliquant

la consommation d'énergie avec un coefficient de détermination de 0.288. A travers ce même modèle, le facteur « nombre de chambres » a un effet indirect à travers le nombre de climatiseurs par ménage sur la consommation de l'électricité. Aussi, les auteurs ont trouvé que l'âge de la personne de référence est négativement corrélé avec la consommation d'électricité due à l'usage des climatiseurs et il [l'âge] est plus important que le revenu. Les auteurs expliquent cette tendance qui est à l'encontre de presque toutes les études menées à travers le monde, par le fait que l'énergie est encore moins chère en Chine. Cette étude a mis en exergue l'importance des effets indirects de certains facteurs et le contexte, comme le prix dans ce cas, dans l'explication de la consommation de l'électricité.

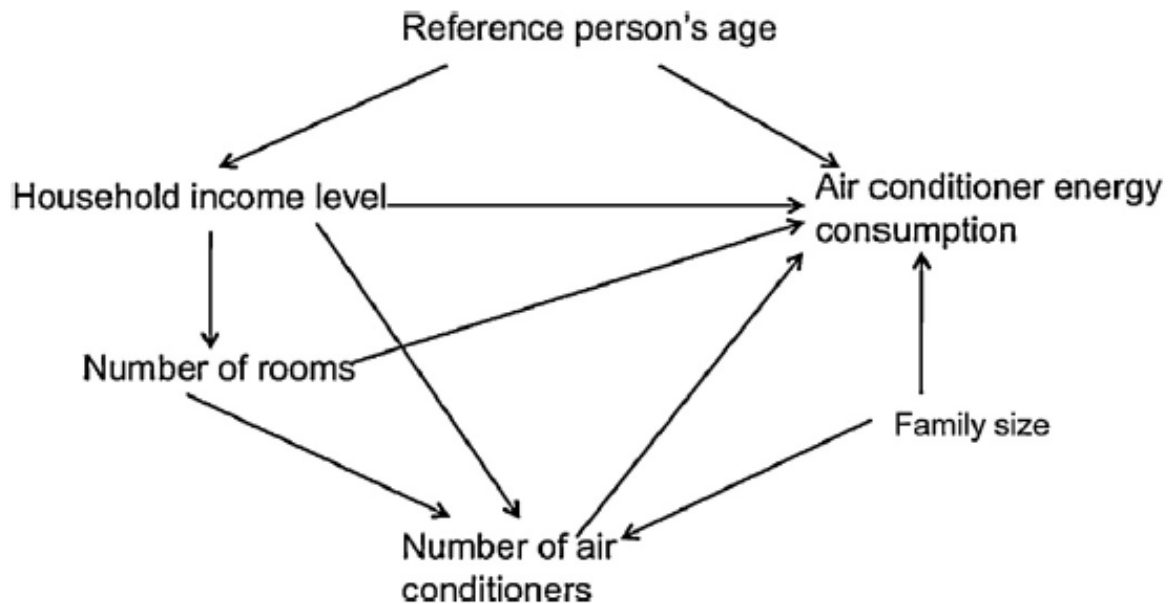


Fig 3- 7 : Les pistes de causalité étudiées par Chen et al (2013)

Carter et al (2011) en Barbade avec un échantillon représentatif de 130 habitations, 0.2% du parc immobilier de la Barbade, ont trouvé que la propriété de climatiseur n'a pas d'effet significatif sur la consommation de l'électricité. Les auteurs expliquent cette tendance par le taux de possession des climatiseurs qui se trouve freiné par le prix de l'énergie (-0.775) et légèrement encouragé par le revenu des ménages (0.031).

e. Machine à laver

Bartiaux et Gram-Hanssen (2005), Bedir et Kara (2017), Vassileva (2012) et Carter et al (2011) ont trouvé que la possession des machines à laver est positivement corrélée avec la consommation de l'électricité. Leahy et al (2009) en Irlande ont trouvé une corrélation non significative entre la machine à laver et la consommation de l'électricité. La chance d'avoir une machine à laver en Irlande est corrélée principalement au nombre de chambres, la taille de ménage, le niveau d'éducation et au revenu du ménage.

f. Lave-vaisselle

Bedir et Kara (2017), Bartiaux et Gram-Hanssen (2005) et Leahy et al (2009) ont trouvé que les ménages ayant lave-vaisselle ont tendance à consommer davantage d'électricité que les ménages qui n'en possèdent pas. Les auteurs expliquent cette corrélation par le style de vie et l'intensité d'usage

des lave-vaisselles, par exemple, Bedir et Kara (2017) ont trouvé qu'aux Pays-bas, les ménages ont tendance à utiliser le lave-vaisselle en moyenne 42 minutes par jour.

g. Réfrigérateur

Intuitivement, la possession d'un ou plusieurs réfrigérateurs par ménage génère une augmentation dans la consommation de l'électricité, car son usage est continu dans le temps et indépendant des variations climatiques. Le réfrigérateur constitue l'un des importants déterminants de la consommation de l'électricité. Bartiaux et Gram-Hanssen (2005) et Zhou et Teng (2013) sont arrivés à la même conclusion au Danemark, Belgique et en Chine respectivement. Bartiaux et Gram-Hanssen (2005) ont trouvé que la possession des réfrigérateurs efficaces énergétiquement n'a qu'un très faible et non significatif effet sur la consommation de l'électricité (-0.055 et $p=0.628$). Zhou et Teng (2013), avec un taux de possession des réfrigérateurs frôlant la saturation (95%), trouvent l'impact des réfrigérateurs sur la consommation d'énergie important. Les ménages ayant un réfrigérateur en Chine consomment 22.2% plus d'électricité que les ménages qui n'ont pas de réfrigérateur. En contraste avec l'intuition et les études citées *supra*, Leahy et al (2009) en Irlande et Carter et al (2011) en Barbade n'ont pas trouvé un effet statistiquement significatif des réfrigérateurs sur la consommation de l'électricité. Les auteurs n'ont pas donné d'explication pour cette tendance en contraste avec l'intuition et la littérature scientifique, mais d'autres études ont montré que les caractéristiques des réfrigérateurs, comme la taille et l'efficacité, ont un impact sur la consommation de l'électricité (Genjo et al : 2005).

h. Congélateur

La possession du freezer a un impact similaire que le réfrigérateur sur la consommation de l'électricité, mais avec moins d'importance car son taux de possession est moins important que pour le réfrigérateur. Kavousian et al (2013) aux États-Unis ont trouvé que la possession de freezer par ménage explique de 2 à 3 % la consommation de l'électricité. Leahy et al (2009) ont trouvé aussi une corrélation positive entre le freezer et la consommation de l'électricité ($B= 9.92$). Par contre, Carter et al (2011), sans donner d'explication, n'y ont pas trouvé d'effet significatif. L'examen de taux de possession des Freezer (48.5%) et le développement d'un seul modèle à plusieurs variables a, peut-être, caché l'impact des freezer sur la consommation de l'électricité en Barbade.

i. Chauffe-eau

Kavousian et al (2013), Parker (2002) et Leahy et al (2009) ont trouvé une corrélation positive entre la consommation de l'énergie et la possession du chauffe-eau par ménage. Aux États-Unis, Kavousian et al (2013) ont trouvé un impact variable compris entre 4 et 12 % selon l'intensité de la consommation électrique totale (minimale et maximale). Parker (2002) à son tour a trouvé qu'en Floride, la consommation moyenne générée par les chauffe-eau est de 6.4 kwh/jour soit plus de 2300kwh/an. L'auteur a trouvé une variation importante entre la consommation électrique due à l'eau chaude. L'auteur explique cette tendance par la très forte corrélation entre l'eau-chaude et la durée d'occupation des habitations. En plus, le positionnement du ballon d'eau chaude à l'intérieur de la maison permet de réduire, selon la même étude, la consommation du chauffage de près de 16% que pour les ménages positionnant le ballon d'eau chaude à l'extérieur de l'espace de vie.

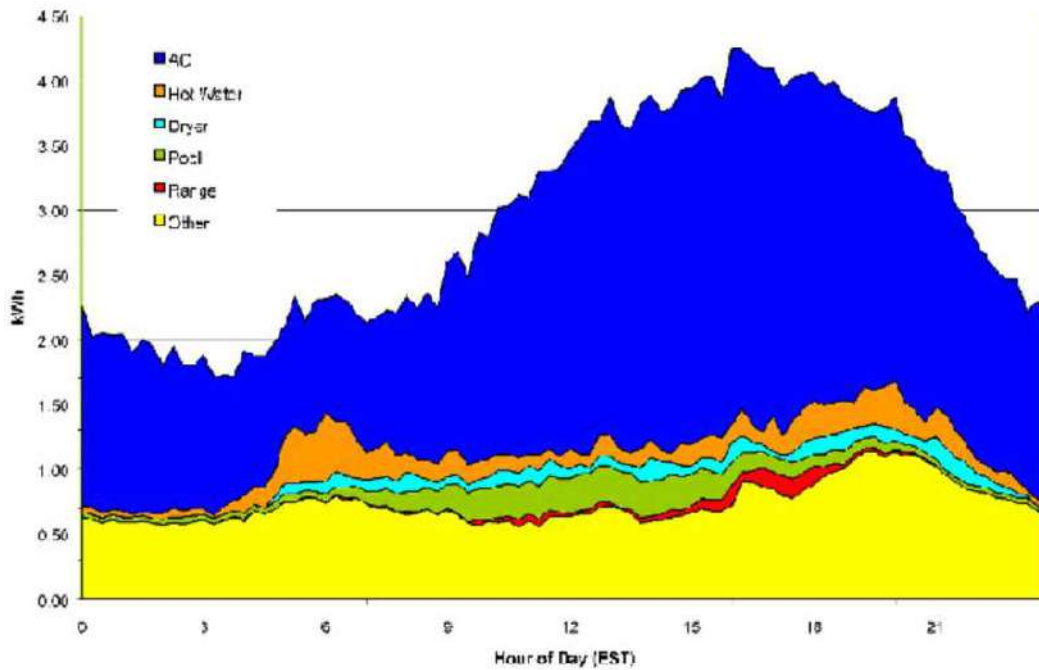


Fig 3- 8 : Décomposition de la consommation de l'électricité par secteur de consommation. Source : Parker (2002).

Leahy et al (2009) ont aussi trouvé une corrélation positive entre la consommation de l'électricité et le chauffe-eau à source électrique. Aussi, les auteurs ont introduit la source renouvelable à leur étude et le résultat est surprenant, car le chauffe-eau fonctionnant avec une source renouvelable est positivement corrélé avec la consommation de l'électricité, plus encore que les chauffe-eau électrique ($B=10.9$ pour le chauffe-eau électrique et 21.6 pour le chauffe-eau à source renouvelable). Les auteurs n'ont pas donné d'explication à ce phénomène, mais il semble clair que l'explication est attribuée à l'effet de rebond (Gram-Hanssen : 2011). L'effet de rebond se manifeste par une croissance dans l'acquisition et l'usage des appareils électroménagers. Nous reviendrons sur ce phénomène dans la section portant sur l'efficacité des appareils ménagers.

En contraste avec les études citées, Raynaud et al (2015), Carter et al (2011) n'ont pas trouvé d'effet significatif sur la consommation d'énergie. Raynaud et al (2015) ont développé un modèle ne considérant que la consommation finale agrégée, ce qui a réduit à l'insignifiance l'impact de chauffe-eau sur la consommation d'énergie. Alors que Carter et al (2011) ont trouvé que la possession de chauffe-eau électrique est négativement corrélée au prix de l'énergie et aucune corrélation avec le revenu des ménages. Autrement dit, la non-signifiance d'impact du chauffe-eau peut être reportée au faible taux de possession de ce dernier (18.6%) en Barbade.

j. Séchoir à linge

Kavousian et al (2013) ont trouvé que la possession du séchoir à linge explique de 2 à 3% la consommation de l'électricité aux États-Unis. De même, Leahy et al (2009) ont trouvé que la possession de sèche-linge génère une augmentation de la consommation de l'électricité en Irlande ($B=9.11$). Bedir et Kara (2017) et Gram-Hanssen (2011) ont trouvé la même corrélation avec un impact plus important pour l'usage que pour la possession. Pour Carter et al (2011) et par contraste aux études citées, la possession de sèche-linge s'est révélée sans effet significatif sur la consommation de l'électricité et ceci peut être expliqué par le faible taux de possession des sèche-linges en Barbade (14.7%).

k. Possession des panneaux-solaires

La possession des panneaux solaires peut générer des économies dans l'usage des énergies fossiles, l'électricité et le gaz. Cependant, Bedir et Kara (2017) au Pays-Bas et Carter et al (2011) en Barbade n'ont pas trouvé de corrélation significative entre la consommation de l'électricité et la possession des panneaux solaires. Ceci peut être expliqué par le faible taux de possession (46/248 cas) aux Pays-Bas, et 31.8% en Barbade. Aussi, c'est par les économies réalisées par les ménages par l'usage des panneaux solaires qui peuvent être réinvesties dans l'achat et l'usage davantage d'appareils ménagers, que les économies réalisées par l'usage des panneaux solaires se sont atténuées.

l. Possession des lampes halogène et à basse consommation d'énergie

Le nature des lampes halogènes ou à basse consommation impacte la consommation d'électricité. Bedir et Kara (2017) au Pays Bas ont trouvé une corrélation positive entre consommation d'électricité et le nombre de lampes halogène par ménage ($r = 0.17$). Alors que le remplacement des lampes halogènes par des lampes à basse consommation a un effet contrasté. Bedir et Kara (2017), Kavousian et al (2013) ont trouvé un effet positif sur la consommation de l'électricité. L'éclairage efficient réduit la consommation de -0.016 à -0.13 pour le cas américain (Kavousian et al : 2013). Bedir et Kara (2017) ont trouvé la même corrélation avec un effet moindre ($r = -0.04$).

Raynaud et al (2015), contrairement à l'intuition, ont trouvé pour le cas français une corrélation positive ($B = 0.067$). Pour expliquer ces résultats, les auteurs ont posé l'hypothèse stipulant que les lampes à basse consommation ne sont principalement achetées que par les ménages ayant un revenu supérieur, en d'autres termes, l'effet des économies d'énergie provenant de l'usage des lampes à basse consommation est caché par l'effet de revenu. Les ménages à haut revenu ont tendance à s'équiper davantage d'appareils ménagers.

Bartiaux et Gram-Hanssen (2005) ont trouvé une corrélation non significative entre la possession des lampes à basse consommation avec la consommation de l'électricité en Belgique et au Danemark. En se basant sur l'enquête Eurobaromètre, les auteurs admettent l'hypothèse stipulant que les attitudes et les préoccupations environnementales ne sont probablement pas des facteurs pouvant expliquer les différences observées dans la consommation d'électricité. Il nous semble aussi que l'examen de l'échantillonnage nous permet aussi d'avancer l'hypothèse du taux de possession des lampes BC qui est relativement moyen à faible, alors que l'usage sous l'effet de rebond génère une consommation supplémentaire pouvant annuler du fait les économies réalisées et cacher *ipso facto* l'effet des lampes BC. Cette observation est importante pour le cas algérien, la politique de remplacement des lampes par les collectivités locales et par les ménages est l'une des actions principales du programme de maîtrise de l'énergie.

m. Nombre de chargeur de batterie

Bedir et Kara (2017) ont exploré l'impact de nombre de chargeurs sur la consommation d'électricité et ils ont trouvé que la corrélation est positive ($r = 0.22$). Les auteurs n'ont pas développé un modèle pour quantifier l'impact de nombre de chargeurs par ménage.

3.4.2. Impact de l'usage des appareils ménagers sur la consommation de l'énergie

Sur cette partie de l'état de l'art, on abordera l'effet de l'usage des appareils ménagers sur la consommation d'énergie. Certains appareils, comme le réfrigérateur, ne seront pas cités car leur fonctionnement est continu donc leur nombre suffirait pour explorer leur impact.

Tableau 3- 14 : Etudes sur l'effet de l'usage des appareils ménagers sur la consommation de l'énergie. Source : Recensement réalisé par S. Boukarta

Facteurs	Nombre d'études incluant le facteur étudié	Corrélation positive	Corrélation négative	Corrélation insignifiante
Efficacité des appareils électroménagers	Gram-Hanssen (2011), Bartiaux et Gram-Hanssen (2005)			Bartiaux et Gram-Hanssen (2005), Gram-Hanssen (2011),
Mise en veille des Appareils	Bedir et Kara (2017), Bartiaux et Gram-Hanssen (2005)	Bedir et Kara (2017), Bartiaux et Gram-Hanssen (2005)		
Durée d'éclairage	Bedir et Kara (2017), Bartiaux et Gram-Hanssen (2005),	Bedir et Kara (2017)		
Usage des appareils (Information commun et divertissement)	Bedir et Kara (2017), Keith et al (2008), Kavousian et al (2013), Vassileva (2012)	Bedir et Kara (2017), Keith et al (2008), Vassileva (2012), Kavousian et al (2013)		
Usage TV	Ellegård et al (2011), Vassileva (2012)	Ellegård et al (2011), Vassileva (2012)		
Usage Radio	Ellegård et al (2011)	Ellegård et al (2011)		
Nbr d'appareils mis en veille	Bartiaux et Gram-Hanssen (2005)	Bartiaux et Gram-Hanssen (2005)		
Utilisation des ordinateurs	Ellegård et al (2011), Vassileva (2012), Bartiaux et Gram-Hanssen (2005)	Ellegård et al (2011), Vassileva (2012) ; Bartiaux et Gram-Hanssen (2005)		
Nbr de cycle de lavage	Bedir et Kara (2017), Bartiaux et Gram-Hanssen (2005), Vassileva (2012).	Bedir et Kara (2017), Bartiaux et Gram-Hanssen (2005), Vassileva (2012).		
Usage de sèche-linge	Gram-Hanssen (2011), Bartiaux et Gram-Hanssen (2005), Vassileva (2012).	Gram-Hanssen (2011), Bartiaux et Gram-Hanssen (2005), Vassileva (2012).		
Nbr de cycle lave-vaisselle par jour	Bedir et Kara (2017), Vassileva (2012).	Bedir et Kara (2017), Vassileva (2012).		
Usage cuisinière	Bedir et Kara (2017), Ellegård et al (2011), Raynaud et al (2015), Vassileva (2012)	Bedir et Kara (2017), Ellegård et al (2011), Raynaud et al (2015), Vassileva (2012)		
Nombre de douche par semaine	Bedir et Kara (2017), Keith et al (2008), Raynaud et al (2015)	Bedir et Kara (2017), Keith et al (2008), Raynaud et al (2015)		
Durée de bain	Bedir et Kara (2017)	Bedir et Kara (2017)		
Usage du chauffage	Kavousian et al (2013), Raynaud et al (2015)	Kavousian et al (2013),	Raynaud et al (2015)	
Usage de climatiseur	Cheng et al (2013)	Cheng et al (2013)		

a. Impact de l'efficacité énergétique des appareils ménagers sur la consommation d'énergie

Le développement technologique a permis de fabriquer des appareils beaucoup plus efficaces que ce qui se faisait auparavant. Intuitivement la consommation d'énergie devrait baisser. Gram-Hanssen (2011), en comparant le développement de l'efficacité énergétique des appareils ménagers d'un

côté et l'évolution de la consommation d'énergie de l'autre coté au Danemark, a trouvé que l'efficacité des appareils électroménagers ne contribue pas à expliquer les différences qui existent dans la consommation d'électricité des ménages, car l'impact de l'efficacité des appareils est annulé par l'effet de rebond estimé à des valeurs dépassant les 20%. Par contre, le nombre des appareils et leurs usages expliqueraient davantage la consommation d'énergie (Gram-Hanssen : 2011, et Bedir et kara: 2017). L'effet de rebond se matérialise par une croissance dans l'acquisition des appareils ménagers et par un usage plus intense (voir figure ci-dessous). Ainsi, Bartiaux et Gram-Hanssen (2005) n'ont pas trouvé d'effet significatif quant à l'usage des lampes BC et de même pour Bedir et Kara (2017) au Pays-Bas et Carter et al (2011), qui n'ont trouvé aucune corrélation significative entre la consommation de l'électricité et l'utilisation des panneaux solaires.

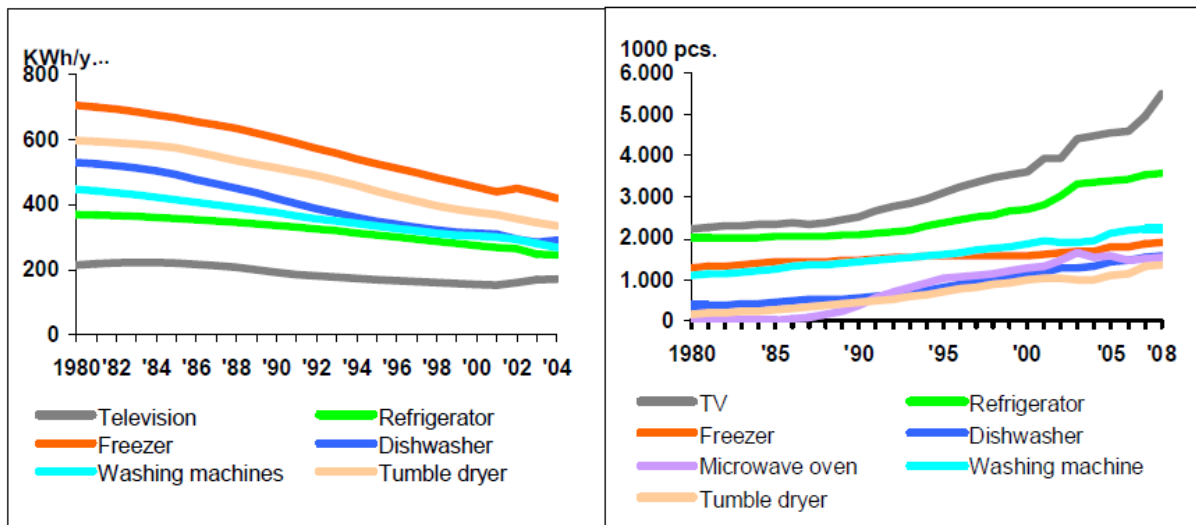


Fig 3- 9 : Evolution de l'efficacité énergétique des appareils ménagers (à gauche) et évolution de la consommation d'énergie générée par les mêmes appareils ménagers (à droite) Source : Gram-Hanssen (2011).

Gram-Hanssen (2011) précise enfin que l'effet du rebond ne doit pas être expliqué que par l'aspect économique mais aussi qu'il faudrait trouver des explications sur le plan psychologique et social, car les occupants, quoiqu'ils tendent à choisir des appareils efficaces énergétiquement, ils ne se posent pas de questions sur comment les utiliser.

b. Impact de la mise en veille des appareils ménagers sur la consommation de l'énergie

Bedir et Kara (2017) ont trouvé une corrélation positive entre la mise en veille des appareils ménagers et la consommation de l'électricité ($r = 0.15$). Aussi, Bartiaux et Gram-Hanssen (2005) ont trouvé que le nombre de personnes débranchant leurs TV après l'usage est corrélé avec la consommation de l'électricité. Il y a un gain de 36% pour les moins consommateurs, 30 % pour les moyens consommateurs et 21 % pour les gros consommateurs de l'électricité en Belgique. Au Danemark, les auteurs ont trouvé une forte corrélation entre la consommation de l'électricité et le nombre d'appareils mis en veille.

c. Impact de l'usage des appareils d'Information, communication et de divertissement (ICD)

Les appareils d'Information, communication et de divertissement regroupent la TV, ordinateur et radio. Bedir et Kara (2017), Keith et al (2008), Vassileva (2012) et Kavousian et al (2013), ont trouvé que la tendance globale est que l'usage de ces appareils génère une consommation significative dans la consommation finale de l'électricité. Kavousian et al (2013) ont trouvé que l'effet d'usage des appareils de divertissement (sans la tv) est moins important que l'usage de la TV aux Etats-Unis ($B =$

0.023 à 0.042. Alors que l'impact de la TV seule peut représenter jusqu'à trois fois la consommation d'électricité générée par les autres appareils de divertissement regroupés ($B=0.104$). Bartiaux et Gram-Hanssen (2005) ont trouvé que les danois passent moins de temps devant la TV par rapport au belges, 2 et 2.18 heure respectivement. Les auteurs expliquent cette différence par le nombre de non employés qui est légèrement plus élevé en Belgique qu'au Danemark. Ellegård et al (2011) ont expliqué l'importance de la consommation de l'électricité générée par la TV par le phénomène des activités secondaires. Les occupants ont tendance à utiliser la TV entant qu'activité secondaire tout en faisant une autre activité. La méthode utilisée par les auteurs, se basant sur un agenda expliquant les activités habitantes en fonction du temps le long d'une journée, a permis de voir que les activités secondaires sont plus consommatrices d'énergie que les activités principales (Voir la figure ci-dessous).

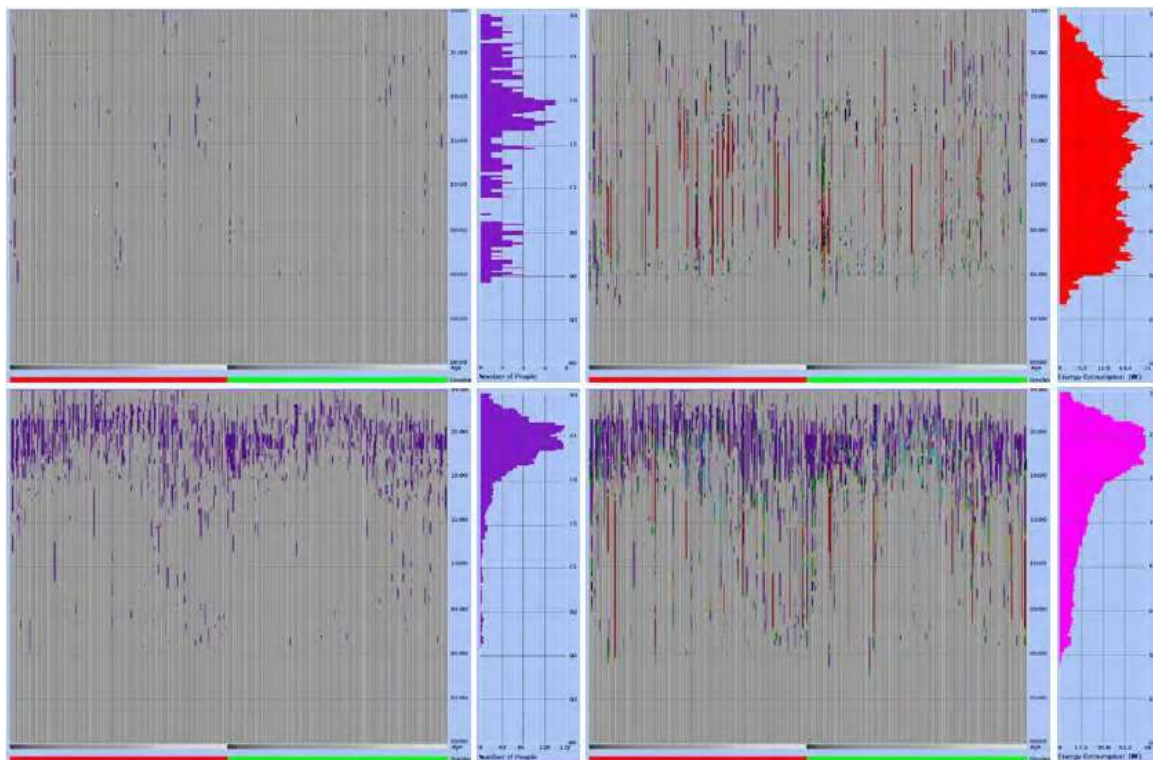


Fig 3- 10 : En haut à gauche : la consommation de l'électricité générée par l'usage de la radio comme activité principale. En haut à droite : la consommation de l'électricité générée par l'usage de la Radio comme activité secondaire. En bas à gauche : la consommation de l'électricité générée par l'usage de la TV comme activité principale. En bas à droite : la consommation de l'électricité générée par l'usage de la TV comme activité secondaire. Source : Ellegård et al (2011).

L'usage des ordinateurs s'est révélé dans l'étude menée en Suède par Ellegård et al (2011) comme une activité principalement liée à l'âge. Les jeunes ont tendance à utiliser l'ordinateur comme activité principale. Bartiaux et Gram-Hanssen (2005) ont trouvé que les Danois ont 10% ordinateur de plus que les Belges, mais la corrélation entre l'usage des ordinateurs et la consommation d'électricité s'est révélée positive pour les deux pays. En Suède Vassileva (2012) a trouvé que les heures d'usage des ordinateurs sont plus fréquemment comprises entre 2 et 6 heures par jour par ménage. L'auteur différencie, à son tour, l'usage effectif et la mise en veille des ordinateurs. De Almeida et al (2011) ont trouvé, à travers un questionnaire ($n=500$) distribué dans 12 pays de l'Europe, qu'il serait possible d'effectuer des économies à hauteur de 10% dans la consommation de l'électricité générée par l'usage des ordinateurs.

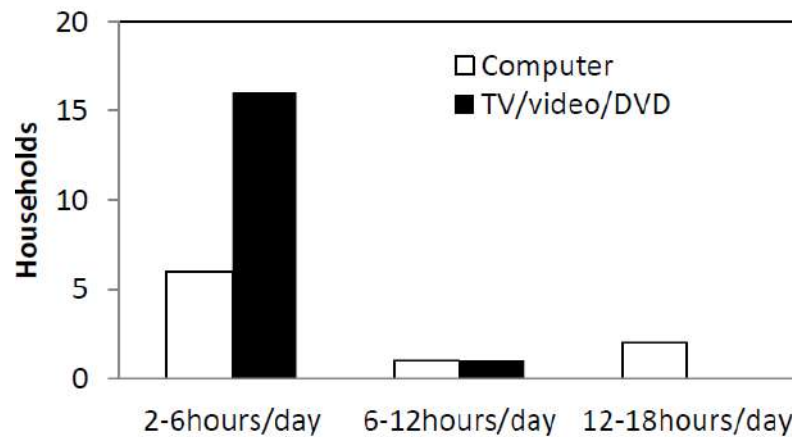


Fig 3- 11 : Fréquence d'utilisation des ordinateurs et TV/video/DVD en suède. (N=19). Source : Vassileva (2012).

L'usage des appareils de nettoyage (machine à laver, sèche-linge et lave-vaisselle) explique une part non négligeable des consommations d'électricité. Bedir et Kara (2017), Vassileva (2012) et Bartiaux et Gram-Hanssen (2005) ont tous trouvé une corrélation positive avec le nombre de cycle de lavage par semaine et par ménage. Bartiaux et Gram-Hanssen (2005) ont trouvé qu'en Belgique, 95 % des ménages possèdent une machine à laver. Le nombre de cycle de lavage par semaine est positivement corrélé avec la consommation de l'électricité ($R^2=7.6\%$). Et, quoique le taux de possession et l'usage des sèche-linges soient moins importants que les machines à laver, l'impact de sèche-linge est légèrement supérieur avec 8.6%. L'utilisation des machines à laver et sèche-linge a un effet combiné largement supérieur aux deux appareils considérés individuellement ($R^2=24.5\%$). Vassileva (2012) a aussi trouvé que le nombre de cycle de lavage est mieux corrélé avec la consommation de l'électricité dans les maisons individuelles que dans les appartements, car le nombre de cycle de lavage est plus important dans les maisons que dans les appartements. Les ménages utilisant de deux à six fois la machine à laver est 60% dans les maisons et 35% dans les appartements. Egalement, aux Pays-Bas, Bedir et al (2017) ont trouvé que le nombre de cycle de machine à laver par semaine est corrélé avec la consommation d'électricité ($r=0.19$) et que le lave-vaisselle est en moyenne utilisé 42 minutes par jour et son usage combiné avec la machine à laver et le sèche impacte significativement la consommation de l'électricité.

Bedir et Kara (2017) ont trouvé une corrélation entre la durée d'utilisation de la cuisinière et la consommation de l'électricité ($r=0.09$). Raynaud et al (2015) ont trouvé que si la source d'énergie est le gaz, la corrélation entre la consommation de gaz et l'usage de la cuisinière est statistiquement significative et positive ($B=0.104$). Alors que, s'il s'agit de l'électricité ($B=-0.104$) la corrélation est négative mais statistiquement non significative. Ceci est dû à l'intensité d'usage qui est plus importante pour les cuisinières à gaz que celles électriques. Ellegård et al (2011) ont trouvé que « cuisiner » constitue la deuxième plus grande fonction consommant de l'électricité après la télévision et que cette activité est principalement féminine en Suède. Vassileva (2012) a trouvé que les pics de consommation d'énergie sont expliqués en partie par cet usage.

Le nombre et durée de douche par semaine est aussi significatif. Ils sont utilisés comme proxy pour l'utilisation de chauffe-eau. Bedir et Kara (2017), Keith et al (2008) et Raynaud et al (2015) ont tous trouvé une corrélation positive entre ces deux déterminants et la consommation de l'électricité. Avec une moyenne de 1.33 bain et 139.21 minutes pour se doucher par semaine au Pays-Bas, Bedir et Kara

(2017) ont trouvé une corrélation significative entre la consommation de l'électricité et le nombre et la durée de bain par semaine ($r=0.14$ et 0.23 respectivement). En d'autres termes, les auteurs précisent que la durée du bain est plus importante comme paramètre que le nombre des bains. En France, Raynaud et al (2015) ont trouvé, comme attendu, qu'un ménage prenant moins de sept fois la douche consomme 14.8% moins d'énergie que ceux prenant 7 douches par semaine.

Raynaud et al (2015) ont trouvé qu'en France, les ménages réduisant la température de thermostat chaque nuit consomment moins d'énergie que les autres ménages ($B=-0.142$). Ce résultat s'accorde avec les résultats de Guerra-Santin et al (2009) aux Pays-Bas qui spécifient que la réduction de température de thermostat peut générer des économies d'énergie à hauteur de 18.2%. Alors que Kavousian et al (2013) n'ont trouvé que 2% comme impact de l'utilisation de chauffage sur la consommation d'énergie aux Etats-Unis. Les auteurs spécifient qu'il n'y qu'une seule explication, attribuant cette tendance au fait que la température de thermostats reste inchangée même si les habitations ne sont pas occupées.

Enfin, Chen et al (2013) ont trouvé qu'en Chine, l'utilisation moyenne des climatiseurs est de 10 heures par jour. L'effet de l'utilisation de la climatisation s'est révélé plus important chez les jeunes que chez les personnes âgées qui veillent à éteindre les appareils.

3.5. Synthèse des paramètres de caractérisation énergétique des bâtiments résidentiels

Dans le présent état de l'art, nous avons revu l'effet des trois registres agissant sur la consommation d'énergie dans l'espace résidentiel. De prime à bord, il est clair que les recherches dans ce champs disciplinaire se développent de plus en plus dans les pays européens et en particuliers les pays nordiques, tel que les Pays-Bas, la Suède, et les Etats-Unis qui se démarquent aussi par un nombre croissant des études portant parfois à l'échelle d'un état (Floride) ou de plusieurs états (26 pays). Raynaud et al (2015) précise qu'avec leur étude, il n'y a au total que 5 recherches portant sur la caractérisation de consommation d'énergie des ménages en France. La rive sud de la méditerranée et en particulier l'Algérie, s'intéresse beaucoup plus à l'étude des énergies fossiles provenant du gaz et du pétrole, car toute l'économie nationale repose sur la rente pétrolière. Une étude de type *bottom-up* (Ghedamsi et al : 2016) tendant à prédire les consommations d'énergie à horizon 2030 dans l'espace résidentiel et une autre faite par le CNERIB donne la consommation moyenne d'un ménage habitant un logement F3 sur Alger de surface de 64 m². Et comme l'étude ne porte que sur un seul logement, aucune analyse de sensibilité n'a été possible pour expliquer l'effet des données socio-économiques des ménages, ni celui de l'habitation ou des équipements ménagers. La consommation d'énergie des ménages en Algérie n'a pas apparemment, jusque-là, fait l'objet d'étude. Le fait que notre état de l'art ne porte principalement que sur le monde occidental (toutes les études à l'exception de trois études portant sur la Chine et une pour le Japon) se trouve justifié par la disponibilité des études. Globalement, nous avons recensé 27 études portant sur 21 pays. Les Etats-Unis et la Suède ont 3 études chacun et deux études pour le Danemark, les autres pays sont représentés par une étude par pays.

Le présent chapitre a exploré l'impact de trois registres : les données socio-économiques des ménages, les caractéristiques des ménages et celles des appareils ménagers en termes de propriété,

d'efficacité et d'usage. Le nombre de variables traité par registre est variable d'une étude à une autre et certains déterminants se trouvent plus récurrents dans certaines études que dans d'autres. C'est le cas pour l'usage des appareils ménagers, les études portent beaucoup plus sur la propriété des appareils ménagers que sur leur usage. Ceci peut être expliqué par la disponibilité des données sur la propriété plus que sur l'usage, qui demande des enquêtes lourdes. En tout, 77 déterminants affectant potentiellement la consommation d'énergie dans l'espace résidentiel ont été explorés à travers la revue de la littérature. Le volet des données socio-économiques est le plus étudié avec 28 déterminants, suivi par les caractéristiques des bâtiments avec 17 déterminants et la propriété et l'usage des appareils ménagers (16 déterminants pour chaque registre).

Le tableau de synthèse présenté ci-dessous montre le nombre d'études par déterminant et leurs effets sur la consommation d'énergie, selon que l'effet est Positif, Négatif ou Insignifiant. C'est sur la base du nombre des études assignées à chaque catégorie que l'effet principal est fixé, et quand l'effet n'est pas clair, il est désigné comme effet contrasté. En se basant sur le nombre d'études par registre, il apparaît que le registre des données socio-économiques et les caractéristiques des bâtiments sont les plus étudiés. Les déterminants qui reviennent le plus dans le registre des données socio-économiques sont : le prix de l'énergie (8 études), le revenu (13), la taille des ménages (16), l'âge du responsable de ménage (10), l'âge des occupants compris entre 19-35 et le niveau d'éducation. Dans le registre des caractéristiques des bâtiments, sept déterminants apparaissent plus de quatre fois dans les études : la variation des conditions météorologique (8), la densité urbaine (10), le type de maison individuelle détachée, la surface de l'habitation (14), le nombre de chambres et l'âge de l'habitation (7) et enfin le type de vitrage (5). Le registre des propriétés des appareils ménagers comprend 6 appareils dont l'impact est étudié dans plus de 4 études et qui sont : le nombre des téléviseurs (5), de climatiseur(6), de machine à laver (5), de chauffe-eau (5), sèche-linge (5) et les lampes BC (5).

Selon le registre des **données socio-économiques**, 8 déterminants ont un impact réduisant la consommation de l'énergie et qui sont : le prix de l'énergie, la taille des ménages, le temps passé à l'extérieur des habitations, le nombre d'enfant ayant de 0 à 6 ans, le nombre d'individu 19-35 et 55-65, et les ménages célibataire sénior. Les 6 déterminants du même registre génèrent par contre un surplus de consommation : le revenu, le taux d'occupation par pièce, la durée de présence dans le chambres, l'occupation de l'habitation, les titulaires d'hypothèque et la trajectoire-ménage. Enfin, 14 déterminants ont un effet contrasté à travers les études. Les effets qui apparaissent à travers le nombre des recherches ne tranchent pas clairement la nature de l'effet. Que l'occupant soit locataire ou propriétaire, les études montrent un impact à la fois positif, négatif et insignifiant. De même pour le niveau d'éducation et la sensibilité des ménages pour une économie d'énergie. Et enfin, l'âge des occupants qui semble aussi être contrasté selon que l'on étudié l'âge moyen des ménages ou sous forme de variables catégorielles.

Dans notre état de l'art, le registre portant sur **les caractéristiques des habitations** comprends 17 déterminants, dont 7 sont principalement corrélé négativement, avec l'effet de réduction de consommation de l'énergie (la densité urbaine, le nombre des habitations collectives, le volume passif, la compacité, l'âge de l'habitation, le type de vitrage (double vitrage), et l'isolation des murs). Tandis que 6 déterminants ont un impact principalement négatif avec l'augmentation de la consommation d'énergie : l'hostilité des conditions météorologique, la taille des villes, le nombre de maison individuelles, les maisons détachée sans mitoyenneté, la surface des logements et le nombre

de chambres. La présence des vérandas et la hauteur sous plafonds ont un effet insignifiant sur la consommation d'énergie. Alors que le nombre de niveaux, l'isolation du toit ont un effet contrasté dans notre état de l'art.

Enfin, la **propriété d'appareils ménagers et leurs usages** influent négativement sur la consommation d'énergie, leur nombre comme leurs usages ont tendance à générer plus d'énergie consommée. Seulement quatre appareils ont un impact global contrasté ; le nombre de réfrigérateur, la propriété du chauffe-eau, le nombre de lampes BC et la propriété d'une ventilation mécanique. Les raisons sous-tendant ces contrastes sont expliqués *supra*, ou chaque effet de déterminant est donné selon les auteurs. Enfin, dans ces deux registres, seulement deux déterminants n'ont pas d'effet significatif sur la consommation d'énergie (la propriété des panneaux solaires et l'efficacité des appareils ménagers).

Les recherches ont porté principalement sur la quantification des effets des différents déterminants à travers des modélisation réalisées selon les approches statistiques qui permettent d'isoler l'effet d'un déterminant tout en le considérant en interaction avec les autres paramètres. La volonté de faire une comparaison en termes d'effet quantifié sur la consommation d'énergie se trouve freinée par la variation parfois très grande entre les études, notamment en termes de variables introduites dans le modèles, d'échantillon et en termes d'effet quantifié, qui, parfois, est présenté sous forme de coefficient Beta sans standardisation (Leahy et al : 2009), ou de coefficient Beta standardisé (Kavousian et al : 2013), et parfois sous forme d'effet direct et indirect obtenu par des analyse de régression multiple (Chen et al : 2013) ou simple corrélation de Pearson (Bedir et Kara : 2017), ou enfin par simple rapport entre la consommation finale et celle de l'appareil ménager considéré (Ellegård et al : 2011). En plus de la différenciation en termes d'*output*, la collecte des données ne se fait pas toujours pendant la même saison et n'assure pas le même degré de précision. Certains auteurs utilisent directement les compteurs intelligents qui permettent d'estimer la consommation générée à un niveau de désagrégation élevée (Kavousian et al : 2013) que les autres approches de collecte ne fournissent pas, tels que les entrevues téléphoniques (Bartiaux et Gram-Hanssen : 2005), la déduction à partir des enquêtes de consommation (Druckman et Jackson : 2008) ou par estimation de la consommation des appareils sur la base de leurs puissances et le temps d'usage que les participants fournissent aux chercheurs (Ellegård et al : 2011). Par ailleurs, un déterminant est parfois utilisé comme une seule variable (agrégé) alors que son effet n'affecte qu'un type d'habitation, certains auteurs (Raynaud et al : 2015) ont choisi de ne pas désagréger les déterminants sous formes de variables dichotomique (*Dummy variables*), ce qui fait que la variation d'effet sur la consommation, selon le type d'habitation de l'échantillon par exemple, n'est pas précise. Aussi, le fait de considérer, par certains chercheurs, la consommation finale au lieu d'utiliser les énergies consommées séparément (gaz, électricité et autres types d'énergie), ne permet pas d'avoir l'effet d'un déterminant sur l'énergie réellement consommée (*Idem*) et atténue son effet. Autant de points de différenciation qui ne permettant pas de faire la comparaison. Pour ce faire, une analyse autre que la nôtre est nécessaire, une méta-analyse, reprenant toutes les études en vue d'harmoniser les *outputs* et permettre ainsi une comparaison. Néanmoins globalement, Gram-Hanssen (2011) précise dans un article intitulé « *Energy Use - Which is the More Important: Efficient Technologies or User Practices?* » précise que l'effet des pratiques de consommation habitante peuvent faire varier la consommation d'énergie jusqu'à un facteur de 3, alors que les variations des caractéristiques des bâtiments feront varier la consommation d'énergie jusqu'à un facteur 2.

Tableau 3- 15 : Synthèse portant sur l'effet des 77 déterminants revus dans l'état de l'art. Source : S.Boukarta

Données socio-économiques (28)						Caractéristiques des bâtiments (17)						Propriété des APP ménagers (16)											
	S	P	N	I	P-E		S	P	N	I	P-E		S	P	N	I	P-E						
Prix de l'énergie	8	0	7	1	P	Conditions météorologique	8	6	0	2	N	Nbr d'Appareil ménager	4	3	0	1	N						
Le revenu	13	8	2	3	N	Taille des villes	3	3	0	0	N	Nombre de TVs	5	4	0	1	N						
Tailles des ménages	16	7	8	1	P	Densité urbaine	10	3	6	1	P	NBR Pcs	3	2	0	1	N						
Taux d'occupation par pièce	1	1	0	0	N	H collectif	3	0	3	0	P	NBR chauff portatif	1	1	0	0	N						
Temps passé à l'ext	1	0	1	0	P	Maison individuelle	2	2	0	0	N	Climatisation	6	5	0	1	N						
Présence dans les chambres	2	2	0	0	N	Maison détachée (Mitoyenneté)	6	5	0	1	N	Machine à laver	5	4	0	1	N						
Occupation (temps passé à l'intérieur)	3	3	0	0	N	Volume passif	2	0	2	0	P	Lave vaisselle	4	3	0	1	N						
locataire	3	2	2	0	Co	Nombre de niveau	3	2	0	2	Co	Nbr de réfrigérateur	4	2	0	2	Co						
Propriétaire	3	1	0	2	Co	vérande	1	0	0	1	I	Freezer	3	2	0	1	N						
Titulaire d'hypothèque	2	2	0	0	N	Compacité	3	0	2	1	P	Chauffe-eau	5	3	0	2	Co						
Age du responsable	10	4	4	2	Co	Hauteur sous plafond	1	0	0	1	I	Sèche-linge	5	4	0	1	N						
Age moyen du ménage	1	1 élec	1 gaz	0	Co	Surface de logement	14	11	0	3	N	PV/solaire	2	0	0	2	I						
Moy des Adultes	2	0	1	1	Co	Nombre de chambre	7	6	2	0	N	Lampe halogène	1	1	0	0	N						
Moy d'enfant	2	0	1	1	Co	Age de l'habitation	7	2	5	2	P	LampesBasse consommation (BC)	5	0	3	2	Co						
Individus 0-6	2	0	2	0	P	Type de vitrage	5	0	4	1	P	Chargeurs de batterie	1	1	0	0	N						
Individus 6-12	3	1	2	1	Co	Isolation des murs	2	0	2	0	P	Ventilation mécanique	2	1	0	1	Co						
Individus 13-18	4	2	0	2	Co	Isolation du toit	2	1	0	1	Co												
Individus 19-35	5	0	4	1	P	Usage des appareils ménagers (16)	S	P	N	I	P-E												
Individus 36-54	4	1	3	0	P	Efficacité des appareils électroménagers	2	0	0	2	I												
Individus 55-65	2	0	1	1	Co	Mise en veille des AEM	2	2	0	0	N												
Individus >65	3	1	1	0	Co	Durée d'éclairage	2	2	0	0	N												
Moy des masculin	2	0	1 g	2 él	Co	Usage des ICD *	4	4	0	0	N												
Femme comme chef de ménage	1	1 g	1E	0	Co	Usage TV	2	2	0	0	N												
Ménage célibataire	2	1	1	0	Co	Usage Radio	1	1	0	0	N												
Ménage célibataire senior	1	0	1	0	P	Usage des PCs	3	3	0	0	N												
Education	5	3	2	1	Co	Nbr d'appareils mis en veille	1	1	0	0	N												
Sensibilité pour une économie d'énergie	4	0	2	2	Co	Nbr de cycle de lavage	3	3	0	0	N												
La trajectoire ménage	1	1	0	0	N	Usage de sèche-linge	3	3	0	0	N												
Légende : Type d'influence sur la consommation d'énergie																							
N		Négatif (augmentation)		N		Nombre d'études						Nbr de cycle lave-vaisselle par jour		2		2		0		0		N	
P		Positif (réduction)		P		Effet négatif(augmentation)						Usage cuisinière		4		4		0		0		N	
I		Insignifiant		I		Effet positif(réduction)						nombre de douche par semaine		3		3		0		0		N	
I		Insignifiant		I		Effet insignifiant						Durée de bain		1		1		0		0		N	
Co		Contrasté		P-E		Principal Effet						Usage du chauffage		2		1		1		0		N	
* ICD Information, communication et divertissement												Usage de climatiseur		1		1		0		0		N	

* ICD Information, communication et divertissement

4

CHAPITRE 4

CARACTERISATION ENERGETIQUE DE LA MOBILITE

Le présent chapitre présente la deuxième partie de notre état de l'art. Nous y avons passé en revue la littérature scientifique portant sur la caractérisation de la portée énergétique de la mobilité. L'état de l'art est organisé à partir du tableau 4-1, en s'appuyant sur les éléments de lecture suivants : (i) Pays et année de l'étude. Les pays occidentaux et à leur tête les Etats Unis et les pays nordiques sont les précurseurs dans le domaine des études portant sur les déplacements. (ii) L'échelle de l'étude reste variable et peut porter sur l'échelle d'un quartier (Cervero et Radisch : 1995), d'une ville (Newman et Kenworthy : 1989, Ackera et Witlox : 2010), d'une région (holden et norland : 2005), d'une métropole (Song : 2014, Ding et al : 2017) ou d'un pays (nationale). Les plus répandues sont celles portant sur l'échelle des métropoles, pour évaluer l'impact de la métropolisation sur le phénomène de la ségrégation socio-spatiale. (iii) La principale méthode d'analyse de sensibilité utilisée. Souvent, les analyses de régression linéaire simple, multiple et logistique multinomiale et binaire sont utilisées pour évaluer l'impact des déterminants choisis dans l'étude sur les Distances Parcourues en Voiture (DPV) ou le choix modal. (iv) La source des données. Les analyses utilisent ici : (a) Les données des enquêtes des déplacements déjà réalisées au niveau régional, métropolitain ou national ; (b) Les données des enquêtes de consommation des ménages (Dargay : 2004) ; (c) Les données obtenues par captage des signaux téléphoniques pour les cas les plus innovants (Calabrese et al : 2012). Les études portant sur l'échelle des villes et quartiers sont souvent développées à partir des données d'enquêtes réalisées par les auteurs, en distribuant des questionnaires dans le cas le plus répandu, ou en envoyant les questionnaires par courrier (Holden et Norland : 2005) ou par courriel (Handy et al : 2005). Les distances parcourues des déplacements sont souvent estimées par le truchement des systèmes d'information géographique (SIG) en calculant la distance séparant le centre de point d'origine et celui de la destination. (v) L'échantillonnage utilisé pour les études est très variable et dépend principalement de l'échelle de l'étude. La représentativité des échantillonnages dans certaines études n'est pas toujours proche des données de recensement sur tous les points de comparaison, à cause de la méthode de l'enquête qui est souvent liée à l'identification de l'espace d'enquête, et les individus/ménages enquêtés sont choisis d'une manière aléatoire. Dans ce cas de figure, certains auteurs introduisent des entrevues qualitatives (Naess : 2010). La taille de l'échantillon varie sensiblement d'une étude à une autre, d'une centaine d'individus (ou ménages) à plusieurs milliers. Cette variation en termes de méthode et d'échantillon rend difficile la comparaison entre les études. (vi) Les facteurs ou déterminants de la mobilité

introduits dans les études sont soit liés aux données socio-économiques des ménages, soit à l'environnement bâti (*land use*). L'usage des déterminants est sensiblement variable d'une étude à une autre. Les données liées à l'environnement ont été classées par Cervero et Kockelman (1997) en 3D, Densité, Diversité et Design et dans une méta-analyse, Ewing et Cervero (2010), ont étendu cette liste de registre à 5D, en introduisant la Distance au TC et l'accessibilité de la destination (*Destination accessibility*). (vii) Le type de mobilité. La mobilité domicile-travail est la mobilité la plus étudiée, car effectuée sous contrainte et qui se répète selon un rythme quasi-permanent. Aussi, la mobilité scolaire (introduite ensuite dans notre enquête) n'est traitée dans l'état de l'art qu'en deuxième degré, après la mobilité domicile-travail, car les études portant sur la mobilité scolaire sont moins répandues et n'ont d'effet sur l'usage de la mobilité motorisée que dans les communes périphériques dépourvues d'école (Marique : 2013). (viii) Les résultats des études sont souvent présentés sous forme de modèles expliquant la variation d'impact des déterminants choisis. Le pouvoir explicatif des déterminants choisis est exprimé selon le type d'analyse statistique utilisé, le coefficient de détermination (R^2) pour les analyses de régression, pseudo R^2 pour les analyses de régression logistiques. En suivant le premier tableau de synthèse, présenté ci-dessous, nous avons dressé des tableaux dans lesquels chaque déterminant est présenté et discuté selon les effets quantifiés obtenus des différentes études.

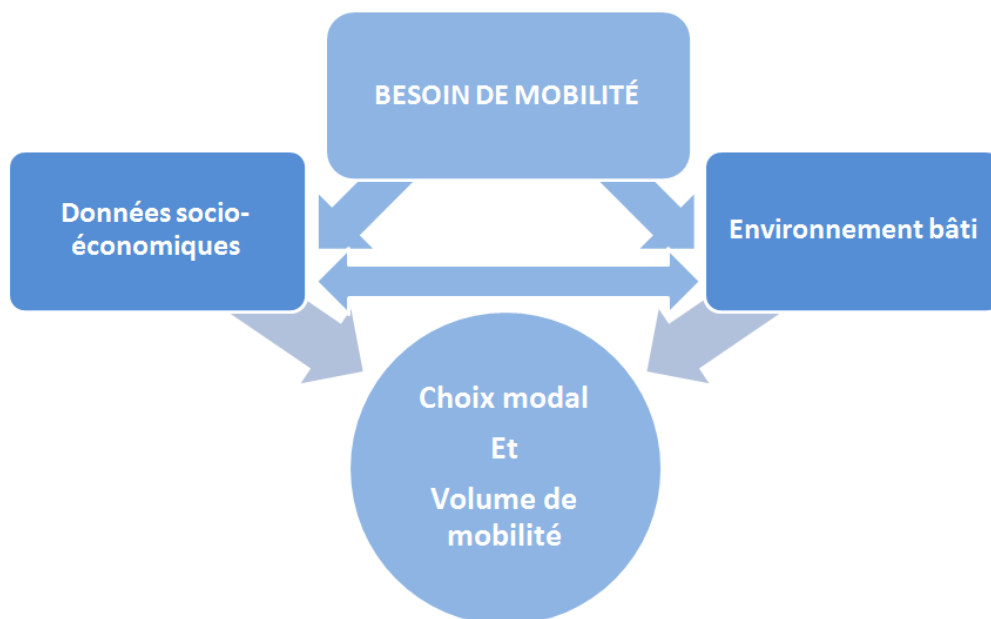


Fig 4- 1 : Cadre conceptuel caractérisant la mobilité. Adapté par S. Boukarta à partir de l'état de l'art.

Les études portant sur la mobilité considèrent le cadre conceptuel présenté ci-dessus et dans lequel la mobilité est corrélée avec les caractéristiques socio-économiques des ménages et leur environnement bâti, comme l'ont démontré certains auteurs (Naes : 2014, Ackera et Witlox : 2010). Les recherches portant sur la mobilité ont pour la plupart comme sortie : (i) Les DPV : les Distances Parcourues en Voiture (*Vehicle Miles Traveled*). Ce paramètre constitue le paramètre de sortie le plus utilisé par la communauté scientifique, il exprime le nombre de miles ou kilomètres parcourus par voiture. (ii) Le HPV ou VHT en anglais (*Vehicle Hours Traveled*) exprimant le nombre d'Heure parcourues en Voiture. (iii) L'énergie consommée exprimée en gallons ou en kWh par personne. (iv) Le bilan carbone qui exprime le poids en Kg de CO₂ par habitant émis pour une population donnée.

Tableau 4- 1 : Descriptif des études choisies pour l'état de l'art. Avec : W : déplacement domicile-travail, S : shopping, L : loisir, SE : données socio-économiques, EB : environnement bâti.
Source : S. Boukarta

Auteurs	Pays	Période	Source des données	Echelle	La principale méthode d'analyse	échantillon	Type de mobilité			Déterminants		Taux d'explication du modèle
							W	S	L	SE	EB	
Ackera et Witlox (2010)	Belgique	2000-2001	Enquête sur le comportement des voyageurs de Gand sur des personnes de 18 ans et plus.	Ville	Modèle d'équation structurelle	2500 ménages	X	X	X	X	X	R ² = 20.1%
Breheny (1995)	UK – pays de Gales	1961-1991	Données agrégées du projet Ecotec (1993).	Nationale	Interpolation à partir des données du projet Ecotec (1993).	Echantillon du projet Ecotec (1993)	X	X	X		X	--
Brownstone et Golob (2008)	Californie	2001	Enquête nationale sur le transport des ménages. Données agrégées.	nationale	modèle d'équation structurelle, P _{ATH} : VMT et VFC (<i>véhicule fuel consumption</i>)	2079	X	X	X	X	X	R ² =0.37 pour VMT R ² = 0.42 Pour VFC
Calabrese et al (2012)	Massachusetts, États-Unis	2011	Déduite par détection du signal des téléphones portatifs réalisé par AirSag. Données agrégées.	Aire métropolitaine	Analyse de régression multiple, pourDPV.	1101	X	X	X	X	X	R ² = 49.40% (mobilité totale) R ² = 56.48% (mobilité par voiture)
Newman et Kenworthy (1989)	32 villes de pays différents	1980	Collecte des données de consommation du carburant et calcul de la densité en excluant les zones rurales. Agence d'urbanisme des différents pays. Données agrégées.	villes	Corrélation de Pearson avec la consommation du carburant.	32 villes	X	X	X	X	X	Variables.
Cervero et Murakami (2010)	US	2003	Données collectées de Highway Statistics. Département de commerce.	Nationale	modèle d'équation structurelle pour le VMT.	370 aires urbaines	X	X	X		X	CFI (> 0:900) 0.969 NFI (> 0:950) 0.961 NNFI (> 0:900) 0.942
cervero et Radsch (1995)	US	1990-1991	Enquête par questionnaire de <i>Bay Area Travel</i> .	quartier	Régression logistique binaire pour la mobilité non-automobile. La différence entre un quartier, new urbanisme (Rockridge) et quartier moderne (Lafayette).	2 quartiers : 620 ménages pour la mobilité hors travail (15.5% des questionnaires distribués). Et 840 (21%) pour la mobilité domicile-travail	X	X	X	X	X	Pseudo R ² =0.29, Pourcentage de cas correctement prédits = 88,6%.
Chen et al (2007)	NY, US	1997/1998	Enquête-ménage.	métropole	modèle d'équation structurelle pour la possession et l'usage des voitures.	2089 voyages choisis de 118134	X			X	X	R ² = 0.45 pour la possession des voiture et R ² =0.58 pour la propension d'usage des voitures.
Dargay (2004)	UK	1970-	Enquêtes sur les	nationale	Régression semi-logistique	256 cohortes (pseudo	X	X	X	X	X	R ² =0.989

		1995	dépenses des familles.			panel).						
Dieleman et al (2002)	Pays-Bas	1996	Enquête nationale sur la mobilité au Pays-Bas	nationale	régression logistique multinomiale	70 000 ménages	X	X	X	X	X	R ² =0.31
Ding et al (2017)	Baltimore US	2001	Enquête ménage	métropole	modèle d'équation structurelle	3519 ménages	X			X	X	--
Feng et al (2013)	Chine et Pays-Bas Nanjing et Randstad	2008	Enquête ménage sur la mobilité dans les deux pays.	ville	Analyse de régression multiple.	2989 personnes pour 10 districts en chine. 1322 pour le cas de Randstad.	X	X	X	X	X	Chine : R ² = 0.115 Randstad R ² = 0.124
Handy et al (2005)	California (US)	2003	questionnaire par courriel effectuée sur 8 quartiers.	Quartier dans l'aire de la métropole.	Analyse de régression.	1466 (24.5%).				X	X	R ² =0.16 R ² adjusted=154
holden et norland (2005)	Oslo, Norvège	2003	Questionnaire distribué par courrier.	régionale	Analyse de régression.	650 pour les déplacement quotidiens, 778 pour les déplacement loisirs, Moins de 100 répondants par zone (8 zones choisis pour l'études).	X		X	X	X	R ² = 0.231 pour la mobilité domicile-travail.
Jahanshahi et al (2015)	UK	2002-2010	Enquête nationale sur les déplacements	Nationale	modèle d'équation structurelle	933,296 trajets.	X		X	X	X	AIC = 61,254 BIC= 63,062 ABIC= 62,440
Karathodorou et noland (2010)	42 pays	1995	Base de données de <i>Millennium Cities Database for Sustainable Transport</i> (1999) pour 100 pays. Et occupation par voiture de <i>Mobility in Cities database</i> (2006).	Ville (de différents pays)	Analyse de régression (simple et selon la méthode SURE).	84 villes	X		X	X	X	R ² =0.61
Khan et al (2014)	Seattle	2006	Questionnaires / Conseil régional de Puget Sound	Aire métropolitaine	Modélisation de plusieurs variables selon plusieurs modes de régression. Nous avons considéré ici que les HBW et déplacement intrazonal.	10 510 individus de 4,741 ménages. NMMT non motorized miles traveled	X		X	X	X	--
KITAMURA et al (1997) Attitude is very important more than the others.	San Francisco, US	1994	Questionnaire. Et information sur l'usage du sol est obtenu de Commission de transport métropolitain. Trips agrégé	quartier	Analyse de Régression multiple.	5 quartiers, 640 répondants, 17.6% de retour.	X		X	X	X	R ² = 0.2125
Limtanakool et al (2006)	Pays-Bas	1996	Enquête nationale sur la mobilité conduite en entrevue téléphonique	Régionale	Analyse de régression logistique binaire. Les distances considérées>50km	Variables : Déplacement travail :2326 Shopping : 932	X	X	X	X	X	--

			et questionnaire		Moyenne et longue distance	Loisir : 3072						
Ma et al (2014)	Chine	2007	Questionnaires.	Comparaison entre quartier considéré à l'échelle régionale	régression logistique	60 ménages, aléatoirement choisis, par quartier, 699 déplacements sur 10 quartiers.	X	X	X	X	X	Pseudo R ² =0.16
Manaugh et al (2009)	Montréal, Canada	2003	Enquête origine destination,	9 quartiers considérés à l'échelle régionale	Analyse de régression linéaire	17 000 déplacements.	X			X	X	Modèle données socio-économique : R ² 0.06. SE+EB modèle : R ² =0.40
Marique (2013)	Belgique	2001	Enquête socio-économique de 2001	nationale	Analyse de régression linéaire multiple	966.247 individus	X			X	X	R ² = 0,457
Næss (2010)	Hangzhou , chine	2005	Entrevue qualitative et questionnaire en 40 zones urbaines.	Ville , zone urbaine/distance au centre ville	Analyse de régression linéaire multiple	28 entrevue et 3150 individus par questionnaire.	X	n d	n d	X	X	R ² = 0.189
Naess (2014)	Hangzhou , chine et Copenhague, Danemark	2005 et	Entrevue et questionnaire	Régionale, zone urbaine/distance au centre métropolitain	Analyse de régression linéaire multiple, impact de la distance par rapport au centre.	1932 et 3150 questionnaire	X			X	X	Copenhague R ² =0.233 Hangzhou R ² =0.095
Pan et al chine (2008)	Shanghai. chine	2001	Questionnaires.	quartier	Analyse de régression logistique multiple pour le choix modal.	1709 dans quatre quartiers qui n'a pas été validé ! mal représenté !	X		X N W	X	X	Pseudo R ² = 0.2714
Zhang et al (2014)	Zhongshan, Chine	2010	Questionnaire	Quartier /métropole	Analyse de régression	25,618	X	X	X	X	X	Pseudo R ² =0.2823
Baouni et al (2013)	Alger, Algérie	2013	questionnaires	Régionale (Alger)	Analyse de la part modale	175						--
Bakour (2016)	Alger	2004	Enquête ménage réalisée par un organisme.	Alger	Analyse de régression linéaire	1200	x					R ² =0.5 à 0.9

4.1. Impact de l'environnement bâti (les 5D)

4.1.1. Densité

La densité constitue l'intensité de présence d'un objet donné rapporté à une unité de surface. A travers la littérature scientifique, on recense l'étude de la densité en considérant la population, les constructions, les habitations, l'emprise au sol, les commerces et enfin les emplois (voir tableau ci-dessous).

a. Densité de population

L'usage différencié de la densité est venu comme suite logique à la série de recherches, qui, tout au début, portait sur la densité de population qui constitue le premier paramètre mis en exergue par les premières études portant sur la mobilité. Steadman, 1979, (cité par Maizia et al 2011) semble être le premier chercheur qui s'est intéressé à combiner la portée énergétique due au transport et aux bâtiments. Il suppose qu'une densité de population élevée aura pour impact de réduire les besoins énergétiques du secteur des transports et à augmenter la demande énergétique des bâtiments en termes d'éclairage et de rafraîchissement. Juste après, Newman et Kenworthy (1989 et 1999), cités par la majeure partie de la communauté scientifique portant sur la mobilité, ont corroboré les conclusions de Steadman (1979) à travers l'analyse de 32 villes caractérisées par leurs densités de population/Ha et l'énergie consommée par personne. La conclusion de cette recherche, représentée sur la courbe de tendance ci-dessous (figure 4-2), précise que la densité de population est directement liée à la consommation d'énergie due à la mobilité. D'après cette étude, la ville compacte s'affirme comme la forme économe, favorable aux courts déplacements, aux transports collectifs et aux modes non motorisés. Cependant, cette dernière conclusion a été rapidement contestée. Gordon et Richardson (1997) (1989, 1996, cité par Hickman : 2007) ont démontré qu'il n'y a pas de relation claire entre les trajets des voitures et la densité de la population aux Etats-Unis d'Amérique, et qu'il serait important de porter l'attention sur l'accessibilité aux réseaux de transport en commun, à la distribution des services ainsi qu'à la tarification d'accès aux autoroutes. Owen (1998) précise qu'une densité élevée peut réduire la mobilité, mais ce n'est pas suffisant comme seul critère.

Tableau 4-2 : Etudes sur l'effet de la densité sur la mobilité automobile. Source : Recensement par S. Boukarta

Déterminant	Auteur	Corrélation Positive	Corrélation Négative	Non significative
Densité de population	Breheny (1995), Calabrese et al (2012), Newman et Kenworthy (1989), Cervero et Murakami (2010), Chen et al (2007), Ding et al (2017), Feng et al (2013), Karathodorou et noland (2010), Limtanakool et al (2006), Ma et al (2014), Marique (2013), Zhang et al (2014),	Limtanakool et al (0.017),	Breheny (-2.5%), Newman et Kenworthy (-0.5778), Cervero et Murakami (-0,381 TT et - 0.604 direct et 0.233 ind), Karathodorou et noland (- 0.33), Marique (-0,056), Zhang et al (-0.030), Ding et al (-0.035).	Calabrese et al (NS), Chen et al (NS), Feng et al (NS), Ma et al (NS dans la génération des tours ou chaîne de déplacements)
Densité bâtie (COS)	Brownstone et Golob (2008), Holden et Norland (2005),	/	Brownstone et Golob (-1171 ⁵⁵).	Holden et Norland (22 kwh/ca ns,)
Densité au sol (CES)	Ackera et Witlox (2010),	/	Ackera et Witlox (-0.155).	/
Densité d'emploi	Newman et Kenworthy (1989), Ding et al (2017)	/	Newman et Kenworthy (- 0.6571), Ding et al (-0.12)	/
Densité de commerce	Cervero et Murakami (2010), Ma et al (2014),	Cervero et Murakami (0.121)	/	Ma et al (NS dans la génération de chaîne de déplacement),

⁵⁵ -1171 miles de moins que pour une même maison située dans une aire moins dense de 1000 maison/miles.

Au-delà des méthodes utilisées et de l'impact estimé, il y a une majorité d'études mentionnant la présence d'une corrélation négative entre la densité de population et la mobilité à différentes échelles. Breheny (1995), Ewing and Cervero (2001), Marique (2013), Zhang et al (2014) et Ding et al (2017) sont arrivés aux mêmes valeurs de grandeurs : -2.5% à Londres, -0.05 aux Etats-Unis, -0.056 en Belgique, -0.03 en Chine et -0.035 au Baltimore (US) respectivement. Ils concluent que la densité est un déterminant qui impacte peu le déplacement régional en voiture particulière et ils ajoutent que la densité est à considérer en combinaison avec d'autres paramètres, tels que l'accessibilité au transport en commun et la mixité fonctionnelle. Selon cette logique de combinaison, Cervero (1994) (cité par Grodon et al 1997) précise que la concentration (Densité) des développements autour des points de transport améliore l'accessibilité et augmente la part modale des transports en commun. Cervero (1996) précise qu'augmenter la densité de population auprès de leurs lieux de travail réduit les VMT. Et Gordon (1997) et Zhang (2004) précisent quel'impact de la densité sur les VMT serait plus important si elle est liée à une politique de tarification.

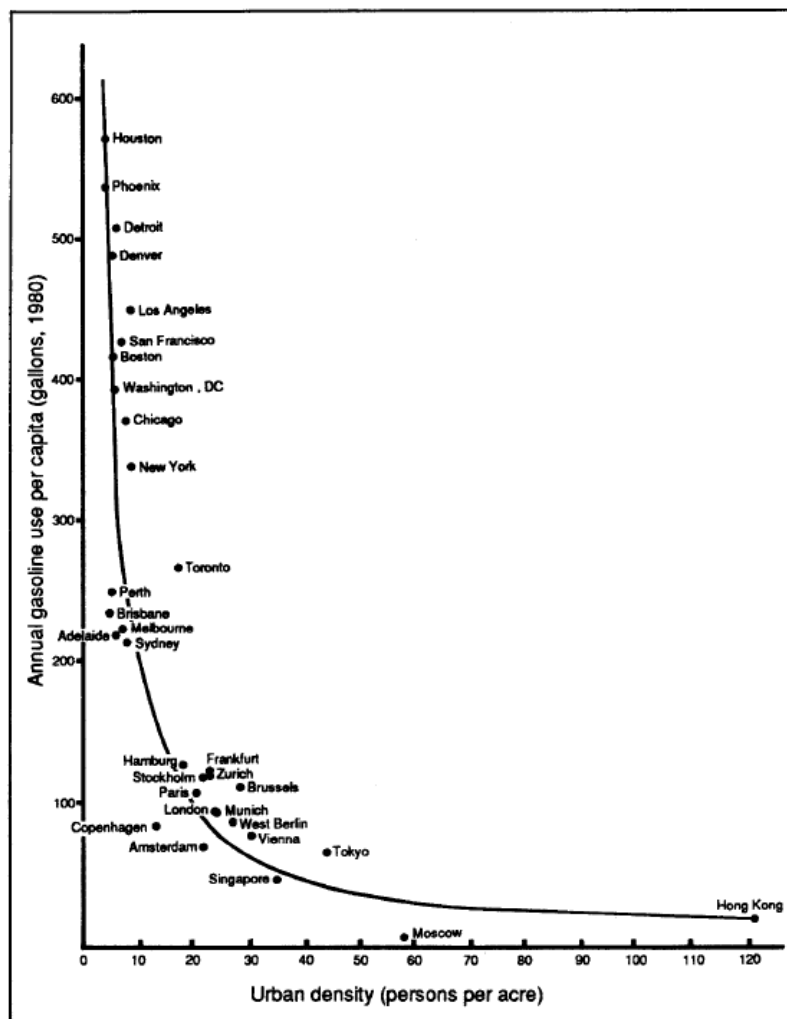


Fig 4- 2 : Consommation de carburant et densité urbaine en 1980. Source : Newman et Kenworthy (1989).

Cervero et Murakami (2010) ont mis en exergue les effets directs et indirects de la densité en s'appuyant sur un modèle d'équation structurelle appliqué sur 370 zones urbaines aux Etats-Unis. L'effet direct estime que le fait de doubler la densité provoquerait une réduction de -60.4% de la mobilité en voiture. Toutefois, cet effet est freiné par la circulation induite (+23.3%) par la densité des voies des réseaux urbains et l'accessibilité aux commerces. L'effet total de la densité est toujours

traduit par la réduction, mais estimé à -0.381. Encore et parmi les effets indirects de la densité, Brehny (1995), Grodon et Richardson (1996), Banister (1996) et Marique (2013) spécifient que les villes denses peuvent produire des effets inverses en augmentant la demande de l'énergie due au transport à cause des congestions et pollutions qui en découlent, car la voiture est moins efficace en mode congestion qu'en mode circulation.

Par ailleurs, Ewing (1997) et Karathodorou et Noland (2010) estiment que le fait de doubler la densité contribuerait à réduire les distances parcourues en voiture de 25 à 30 % aux États-Unis, et de 33% la consommation d'énergie de 84 villes dans 42 pays. Dans la même lignée et pour des distances moyennes à longues, Limtanakool et al (2006) spécifie que la densité semble encourager légèrement (0.017) le recours à la voiture particulière. Les auteurs expliquent cet effet par le manque d'accessibilité aux réseaux de transport en commun (le train en l'occurrence). D'autres recherches n'ont trouvé aucun effet de la densité de la population sur les distances parcourues en voitures Calabrese et al (2012), Chen et al (2007), Feng et al (2013), Ma et al (2014).

b. Densité bâtie (COS et CES)

Brownstone et Golob (2008) ont trouvé qu'en Californie, un ménage résidant dans une aire urbaine parcourrait 1171 miles de moins annuellement par rapport au même ménage résidant dans une aire moins dense de 1000 maisons. Les auteurs expliquent cette différence par le taux de possession des voitures qui est moindre dans les zones denses, comparé aux zones moins denses. Dans une autre étude, Holden et Norland (2005) n'ont pas trouvé de corrélation statistiquement significative de la densité des habitations sur la consommation d'énergie par personne en Norvège, pour les déplacements quotidiens en voiture. Aker et Witlox (2010) affirment que tous les déterminants de l'environnement bâti sont insignifiants statistiquement à l'exception de l'emprise au sol (*built-up index*) qui est négativement corrélée avec l'usage de la voiture (-0.699) et son taux de possession (-0.038).

c. Densité d'emploi et de commerce

Newman et Kenworthy (1989) et Ding et al (2017) ont trouvé une corrélation négative entre la densité d'emploi, la consommation du carburant et les distances parcourues en voiture (-0.6571 et -0.12 respectivement). Ding et al (2017) ont également trouvé une corrélation négative (inversement proportionnelle) entre la densité d'emploi et le taux de possession des voitures estimée à -0.145. Par contre, Cervero et Murakami (2010) ont trouvé que la densité des commerces générerait davantage de déplacements en voiture (0.121). Les auteurs s'appuient sur l'argument avancé par Crane (1996), selon lequel les fortes densités et l'accès aux services et aux commerces ont un effet incitatif sur les déplacements motorisés, car une accessibilité élevée réduit les coûts de transport.

Enfin, Fouchier (1997, rapporté par Lajoie :2006) et Bochet (2007) spécifient que l'équation simplifiée liant la densité à la réduction de l'usage de la voiture et la pollution, n'est pas directement valable et qu'il faut être prudent dans les conclusions à en tirer. Loin d'être considérée comme une vulgate, il est cependant aujourd'hui admis que la densité joue un rôle favorable en réduisant les distances parcourues en voiture ainsi que sur le report modal vers les moyens de déplacement communs et doux.

4.1.2. Diversité

La mixité fonctionnelle peut être évaluée par plusieurs méthodes, et d'après nos lectures, le choix de la méthode d'évaluation est tributaire de l'échelle ou de l'importance de la zone d'étude, comme de la disponibilité des données à l'échelle voulue. Les mesures de mixité des usages sont surtout utilisées à l'échelle du voisinage et des quartiers (Robitaille : 2009). Nous présenterons dans ce qui suit les méthodes utilisées dans le calcul de la mixité fonctionnelle et son impact sur la mobilité motorisée, dont les effets quantifiés sont présentés dans le tableau (4-3) ci-dessous :

Tableau 4-3 : Etudes sur les effets de la diversité fonctionnelle sur les déplacements motorisés. Recensement par S. Boukarta

Déterminant	Auteur	Corrélation Positive	Corrélation Négative	Non significative
Mixité fonctionnelle	Ackera et Witlox (2010), Calabrese et al (2012), Ding et al (2017), Feng et al (2013), Feng et al (2013), Holden et Norland (2005), Khan et al (2014), Marique (2013), Zhang et al (2014),	/	Ackera et Witlox (-0.005), Feng et al (-0.074, en chine, -0.040 au pays bas), Khan et al (-2.39% VMT), Marique (-0,173),	Calabrese et al (NS), Ding et al (NS), Holden et Norland (ns en kwh), Zhang et al (NS),
épicerie à moins de 1600 m	Handy et al (2005),	/	Handy et al (-0.066).	/
Pharmacie à moins de 1600m	Handy et al (2005),	/	Handy et al (-0.069).	/
Densité de service sur le lieu de travail	Ma et al (2014),	/	-0.345 (dans la génération de chaîne de déplacement),	/
Présence de parking	Newman et Kenworthy (1989), KITAMURA et al (1997)	Newman et Kenworthy (0.5754), KITAMURA et al (0.098 (coéf))	/	/
Mixité verticale	Cervero (1989)	/	Cervero (-3%)	/

L'indice d'entropie constitue une des plus anciennes méthodes utilisées. L'indice d'entropie a été utilisé au début pour évaluer la biodiversité. Sa première utilisation est attribuée aux travaux de Shannon (1948) (cité par Manaugh et Kreider: 2013). L'indice d'entropie peut être exprimé de l'équation suivante, dérivée des travaux de Cervero et Kockelman (1997) :

$$H_j = \frac{\sum (A_{ij} \ln A_{ij})}{\ln N_j}$$

A_{ij} = le pourcentage de la fonction i dans le secteur de recensement j .

N_j = nombre de fonctions représentées dans le secteur de recensement j

L'usage de l'indice d'entropie diffère d'une étude à une autre par le nombre de catégories utilisées. Frank et Pivo (1994) (cité par Manaugh et Kreider: 2013) ont utilisé 4 catégories : le commerce, l'institutionnel, le résidentiel et enfin le divertissement. Alors que Dujardin et al (2010) ont utilisé neuf catégories. Le choix des catégories est tributaire de l'objectif de l'étude et de la disponibilité des cartes portant sur le mode d'occupation des sols (MOS). Il est intéressant à signaler ici que ce choix de catégorie joue un rôle important dans l'identification de l'effet de la mixité fonctionnelle sur la mobilité motorisée. Des recherches telles que menées par Brown, et al (2009) et Kerr et al (2007) montrent que la présence de certaines catégories d'occupation du sol à une distance de marche (500, 600 mètres) explique beaucoup plus le comportement que la proportion générale relative à la mixité fonctionnelle. Ainsi, et sur la même lignée, Kerr et al (2007) ont proposé, en plus d'un indice d'entropie, des indicateurs mettant en exergue l'impact de l'occupation du sol de certaines

catégories telles que le commerce et les parcs sur la mobilité, et ils ont trouvé que la corrélation entre les activités physiques (marche à pied) et ces catégories présente des coefficients plus élevés que l'indice mesuré globalement. Aussi, l'indice d'entropie a été utilisé sur plusieurs échelles géographiques différentes, métropolitaine, des districts, et même au niveau d'un seul bâtiment multifonctionnel. La plus importante critique est que l'indice d'entropie ne permet pas de mettre en exergue les interactions spatiales entre les différentes fonctions (Manaugh et al : 2013), car le même indice d'entropie peut donner des distributions spatiales différentes (voir figure ci-dessous).

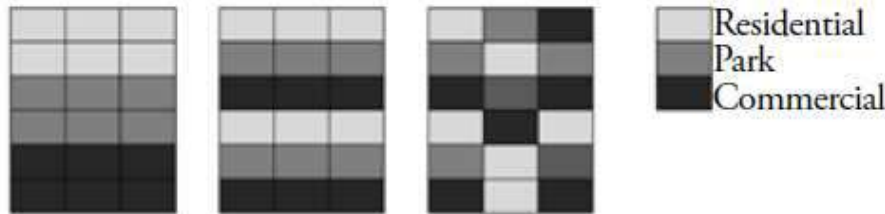


Fig 4- 3 : Indice d'entropie identique pour des répartitions fonctionnelle différente. Source : Manaugh et al (2013).

Un autre indice d'apparence différente, l'indice de Herfindahl (parfois Herfindahl-Hirschfield, ou HHI) qui est utilisé en économie pour évaluer la concentration, est calculé simplement par la somme des carrés des proportions des différentes catégories d'occupation du sol. Il est apparu que l'indice d'entropie et l'indice de Herfindahl sont indiscernables une fois cartographiés par Van Eck et Koomen (2008). Cela remet en cause la fiabilité de l'indice d'entropie quand il est utilisé à des échelles géographiques importantes, telles l'échelle métropolitaine. Cette critique a été surmontée par l'amélioration de cet indice en réduisant l'échelle de l'observation à celle d'un pixel de 10X10 mètres et sur un rayon de 500 mètres. En effet, Dujardin et al (2010) a développé un indice de mixité fonctionnelle conçu en interaction avec une échelle à métrique pédestre. Il a introduit en plus du critère de disponibilité des fonctions, le critère de la distance des fonctions par rapport à un pixel considéré (10X10 mètre). Un poids relatif de 1 à 5 est attribué aux variables selon la proximité de la fonction du pixel considéré (résidence ou emploi). Ainsi, pour une affectation proche de 100 mètres on attribuera 5 points et on diminue d'un point pour chaque 100 mètres de plus. Les catégories retenues sont de nombre du 9, ce qui fait que l'indice de mixité fonctionnelle varie entre 0 et 45, ou 45 constitue l'état de proximité des 9 fonctions dans un rayon de 100 mètres (Voir figure ci-dessous).

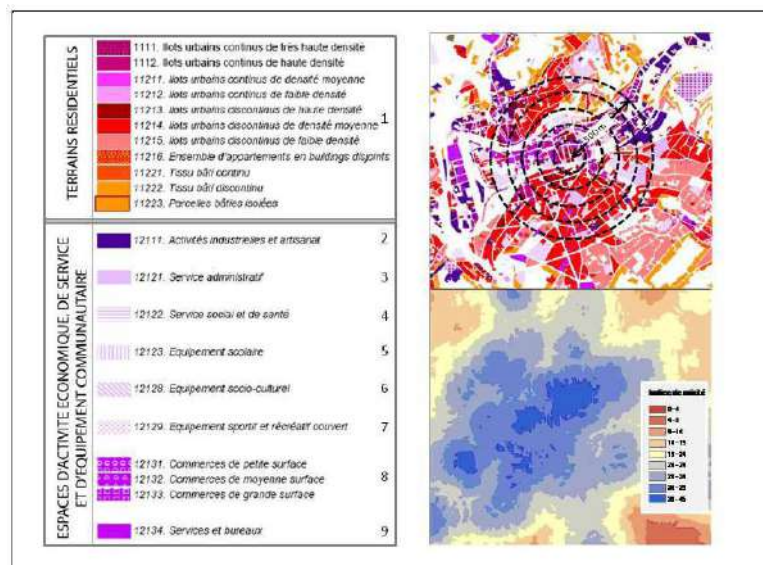


Fig 4- 4 : Méthodologie suivie pour la construction de l'indice de mixité fonctionnelle. Source : Dujardin (2010 : 116).

La carte développée grâce à la technique des SIG a donc permis d'avoir un indice détaillé. Cependant, les chercheurs ont utilisé les neuf catégories en mode combiné, ce qui ne permet pas de différencier ou d'isoler et d'évaluer l'impact et l'importance d'une catégorie par rapport aux autres.

Cervero et Kockelman (1997), en plus de l'indice d'entropie, ont proposé un indice dit de *dissimilarity* qui tend à identifier pour chaque hectare de leur aire d'étude la proportion de contiguïté des catégories d'occupation du sol. La recherche a permis de démontrer la relation positive entre la proportion des déplacements effectués par covoiturage et l'indice de *dissimilarity* (11.1%) au niveau de la baie de San Francisco. Aussi la mesure de l'indice de *dissimilarity* développé prend en considération seulement la fonction la plus répandue sur une cellule d'étude de un hectare et ne permet donc pas d'étudier l'interaction réelle entre les différentes catégories d'occupation du sol et la mobilité.

Manaugh et al (2013) ont effectué une recherche pour évaluer la corrélation entre la contiguïté des modes d'occupation du sol et la part modale de la marche à pied et le vélo. Les chercheurs ont procédé à deux mesures sur trois villes du Canada, Toronto, Montréal, et Vancouver, en se basant sur les données statistiques de 2006. La première mesure portait sur l'indice d'entropie et la seconde mesure concerne l'indice d'interactions. Les chercheurs ont regroupé les sept catégories d'occupation du sol en trois grandes catégories ; (i) le résidentiel, (ii) commerciale, institutionnelle, gouvernementale et industrielle. Cette deuxième catégorie représente la destination des commerces et d'emplois pour chaque secteur de recensement ; (iii) et enfin, les parcs et loisirs représentent la dernière catégorie. L'indice qui mesure l'interaction entre les différentes occupations se base sur une représentation simplifiée sous SIG, où chaque catégorie est représentée par un polygone. Ensuite, et sous SIG, ne seront mentionnées sur la carte que les lignes qui représentent la zone d'interaction entre deux fonctions différentes. L'indice est mesuré par le rapport entre la longueur des lignes d'interactions et la superficie des secteurs de recensement. Les différences de résultats entre l'indice d'entropie et l'indice d'interaction est surprenante. Il s'en avéré que la corrélation entre la part modale de la marche à pied et le vélo est faiblement corrélée avec l'indice de l'entropie, 0.67%, 0.87%, et 3.47% respectivement. Alors que pour l'usage de l'indice d'interaction, la corrélation est prononcée fortement positive, avec 26,05%, ce 11,36%, et 12,11% respectivement pour les trois villes.

Hoek (2008) a étudié l'effet de la localisation des districts et l'indice de la mixité fonctionnelle en utilisant un indice simple : *non housing-housing balance*, ou le rapport entre le résidentiel et le non résidentiel. Dans les villes, telles que Amsterdam et Barcelone, le rapport 50/50 a été toujours maintenu. Les chercheurs ont étudié 12 districts représentatifs en suivant l'axe de développement de la ville d'Amsterdam.

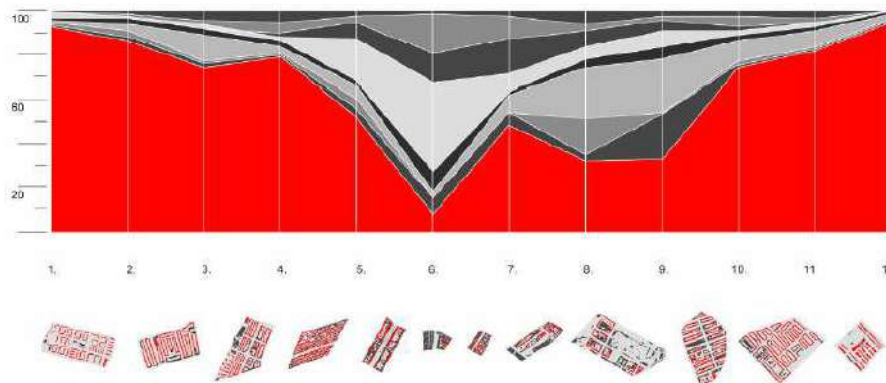


Fig 4- 5 : Développement de l'indice de mixité fonctionnelle de l'Est à l'Ouest d'Amsterdam. Source : Hoek (2008)

Ils en concluent que la localisation des districts est corrélée négativement (inversement) avec l'indice de mixité de la sorte, que plus on s'éloigne du centre, moindre sera la mixité fonctionnelle. Ils sont arrivés à identifier 5 catégories de districts (voir tableau ci-dessous).

Tableau 4-4 : Catégorisation des quartiers urbains selon l'indice de mixité fonctionnelle. Source : Hoek (2008)

MXI	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
District character	Factory complexes Office parks	Central business & leisure Districts	City center metropolitan downtown	19 th century city extensions	Suburbia Modernist town extensions

Pouyanne (2005) précise qu'il n'existe pas de consensus autour de l'impact de la mixité fonctionnelle sur la mobilité motorisée, en raison de : (i) différentes spécifications de la diversité retenue, et (ii) études empiriques aux résultats contradictoires ou faiblement significatifs. Globalement, la mixité fonctionnelle est négativement corrélée avec les distances parcourues en voiture, d'après Acker et Witlox (2010), Feng et al (2013), Khan et al (2014), Marique (2013). Alors que Calabrese et al (2012), Ding et al (2017), Holden et Norland (2005), Zhang et al (2014) n'ont pas trouvé de corrélation statistiquement significative avec la mixité fonctionnelle et ceci est dû à l'usage de l'indice dans sa forme globale sans introduire des variables de type « catégorie ». Handy et al (2005) a introduit la présence d'une épicerie et de pharmacie dans une distance de moins de 1600 mètres dans le modèle qui a donné une corrélation négative et très proche l'une de l'autre, -0.066 pour l'épicerie et -0.069 pour la pharmacie. En Chine, Ma et al (2014) ont trouvé que la densité de services dans les lieux de travail réduit les chances de formation des chaînes de déplacements motorisés de -0.345. Alors que Newman et Kenworthy (1989), Kitamura et al (1997) ont trouvé que la présence des parkings, utilisée ici comme proxy d'accessibilité, est fortement corrélée avec les déplacements motorisés (0.5765⁵⁶ pour Newman et Kenworthy (1989) et explique à près de 10% les distances parcourues en voiture à San Francisco. Enfin, Cervero (1989) a démontré à partir de l'analyse de 57 zones de développement d'emploi aux USA, qu'une augmentation de 10 % des espaces commerciaux aux niveaux des étages augmenterait de 3% la part modale des transports en commun.

4.1.3. Design

Le registre des variables appelé « Design » porte principalement sur une caractérisation géométrique du réseau viaire, afin de décrire son potentiel de connectivité. Plus un système viaire est connecté moindre sera le recours aux déplacements motorisés et plus sera importante la part modale des déplacements doux (Salat : 2011). Parmi les méthodes de caractérisation du système viaire on trouve la théorie des graphes, qui est, depuis les années 1960, la principale approche utilisée pour l'étude des réseaux. Cette branche de mathématique tend à abstraire le réseau pour le représenter sous forme d'un graphe comprenant un ensemble de sommets (ou nœud) et d'arrêtes (ou lien). Les nœuds (N) correspondent dans les mailles viaires à des intersections. Les liens (L) correspondent aux différentes sections de rues entre les intersections. Le principal objectif de la théorie des graphes est d'analyser la structure des relations (S.Salat : 2011 : 242) et de proximité qualitativement et quantitativement en s'appuyant sur un ensemble d'indices nodaux qui représentent le « capital spatial » des nœuds (Cyrille G-G : 2013, S.Salat : 2011). Chemin faisant, l'analyse est d'ordre « topologique » car elle décrit le réseau en étudiant le rapport entre les nœuds et leurs liens. La

⁵⁶ Corrélation de Pearson.

théorie des graphes permet de décrire le réseau par un ensemble d'indices. Le tableau ci-dessous présente les principaux indices souvent utilisés pour décrire les réseaux.

Tableau 4-5 : Principaux indices de connectivité. Boukarta à partir de (Salat : 2011, Genre-Grandpierre : 2013, Bukome et Kingoma : 2002)

Indice	Formule	Description
Le nombre cyclomatique	$u = L - N + 1$	Il permet de mesurer le nombre de cycle indépendants.
L'indice α	$\alpha = u / u_{\max} = \frac{L - N + 1}{N - 1}$	Il décrit le rapport entre les circuits fondamentaux « effectifs » d'un réseau donné et le nombre des circuits maximums, il se rapporte au nombre maximum d'arêtes
Indice de connectivité β	$\beta = L/N$	Quand ce rapport est supérieur à 1.00, le réseau comporte plusieurs arêtes.
L'indice γ	$\gamma = L/3(N-2)$	Il exprime le rapport entre le nombre de lien effectif au nombre lien maximum que peut contenir un réseau étudié.
Les Indices de densité	$\theta = L/S$, et $\Psi = N/S$ ou $S = \text{surface du réseau}$.	Ils décrivent la densité des liens et nœuds d'un système viaire.

La théorie des graphes permet de caractériser la topologie d'un réseau en décrivant le voisinage et la continuité de son réseau. Mais elle ne prend pas en considération d'autres paramètres liés à la configuration spatiale du réseau, tel que les angles et les orientations. Deux réseaux de taille proche et présentant les mêmes rapports topologiques peuvent avoir deux configurations spatiales totalement différentes (Genre-Grandpierre : 2013). La figure ci-dessous démontre ce cas de figure entre deux configurations spatialement différentes, mais topologiquement identiques.

Les réseaux R1 et R2 sont topologiquement identiques

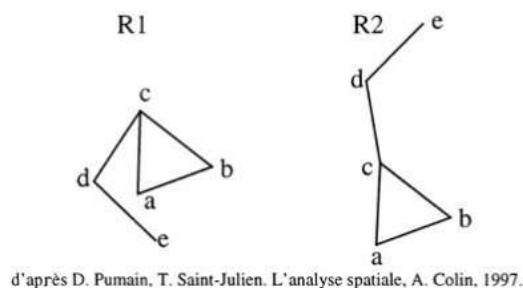


Fig 4- 6 : Configurations spatiales différentes de deux réseaux topologiquement identiques. (Genre-Grandpierre : 2013).

Entre le réseau R1 et R2 existe une différence « spatiale » claire, le réseau R1 est plus sinueux que le R2. Cependant cette réalité physique est omise par la théorie des graphes et constitue une insuffisance en termes de différenciation spatiale. La portée topologique de la théorie des graphes cache non seulement la structure spatiale mais aussi les éventuels allongements des trajets du réseau en question (Genre-Grandpierre : 2013). Aussi, la théorie des graphes ne peut être considérée que sur une échelle donnée.

Pour les raisons citées ci-dessus la théorie des graphes apporte une caractérisation partielle à la problématique d'étude des réseaux viaires. Mais avec la géométrie fractale⁵⁷, les lacunes de la

⁵⁷Le terme est un néologisme forgé par Benoit Mandelbrot en 1975, à partir du latin *fractus*, qui dérive lui-même du verbe *frangere* : *casser* mettre en pièce, briser en fragments irréguliers. Source : S.Salat (2011)

théorie des graphes peuvent être dépassées, pour que le comportement scalant, et les frictions qu'impose un réseau puissent être introduits dans l'étude. Pour décrire le système viaire en considérant les lacunes de la théorie des graphes, Genre-Grandpierre (2013) propose de décrire la « la tortuosité » des trajets à travers la dimension fractale. La tortuosité du réseau viaire se calcule par le rapport logarithmique entre le trajet, entre deux point A et B, proposé par le réseau (L_r) et le trajet (L_e) considéré à vol d'oiseau ($\log L_r / \log L_e$). Plus la valeur du rapport est proche de 2, plus le trajet est irrégulier et tend à allonger les distances. Et plus le rapport est proche de 1 plus le trajet est rectiligne (Voir figure ci-dessous). Cette manière de décrire un réseau viaire a toute son importance et signification, cependant son usage dans une enquête se trouve difficile.

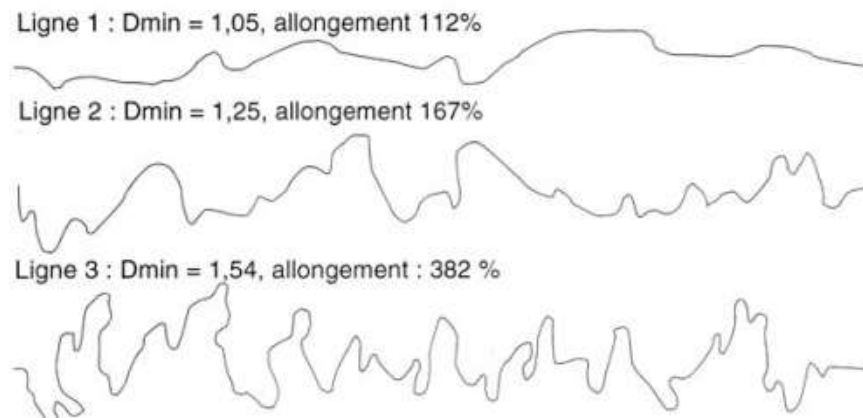


Fig 4- 7 : Exemple de la tortuosité de quelques trajets. Source : Genre-Grandpierre (2013).

L'impact des déterminants du design sur le déplacement motorisé a pris toute sa dimension aux USA dans les années 1990 avec les travaux de plusieurs chercheurs, notamment Kulash et al (1990), Lerner-Lam et al (1992), Cervero et Radische 1996 et Boarnet et Crane (1998), qui prônent le retour au principe de l'urbanisme traditionnel sous le slogan du *new-urbanism*, en y intégrant les TOD (*transit oriented development*), afin d'augmenter l'usage de la marche à pied, le vélo et l'usage des transports en commun et diminuer l'usage de la voiture particulière par rapport à la périphérie.

L'étude de Cervero et Radische (1996) a porté sur deux quartiers contrastés de San Francisco, Rockridge et Lafayette abritant des ménages qui sont dans la même catégorie de revenu et desservi tous les deux par la même autoroute. Rockridge est un quartier d'avant la guerre, compact, avec une mixité fonctionnelle et une métrique pédestre soutenue par un réseau traditionnel de voies. Tandis que Lafayette est caractérisée par une mixité fonctionnelle moindre et avec un réseau de voie caractérisé par la présence des impasses. Cette étude exclut la mobilité domicile-travail.



Fig 4- 8 : Caractéristique des deux quartiers. Source : Cervero et Radische (1996).

Les résultats de la recherche ont montré que les résidents de Rockridge avaient tendance à se déplacer à pied ou en vélo 5 fois plus que les résidents de Lafayette. Cela s'explique par les distances courtes. Rockridge affiche une moyenne de 10.8 miles par résident tandis que pour Lafayette 19.6 miles par résident (Voir tableau ci-dessous).

Tableau 4-6 : Moyenne des distances parcourues à pied et en voiture dans les deux quartiers. Source : Cervero et Radische (1996). Traduit par Boukarta

indice	Rockridge	Lafayette	Différence
Distance moyenne/jour	2.04	1.98	3.0%
Marche à pied	1.07	0.33	224.2%
Déplacement motorisé	0.9	1.58	75.6%

D'autres recherches ont mis en exergue l'importance du design quant à l'explication de la mobilité motorisée et douce (voir tableau ci-dessous). Ding et al (2017) et Zhang et al (2014) ont trouvé que la densité d'intersection augmente le recours aux déplacements motorisés, ce qui peut être expliqué par les mêmes arguments avancés par Cervero et Murakami (2010) et Crane (1996). La densité des intersections améliore l'accessibilité et rend incitatif le recours à la voiture particulière. Alors que Calabrese et al (2012) ont trouvé que le fait de doubler la densité d'intersection permettrait de réduire de -7.58% le déplacement motorisé. Ainsi, Khan et al (2014) ont trouvé que la densité des intersections réduirait de 4% les distances parcourues en voiture et augmenterait la part modale de la marche à pied de près de 43%. Dans la même lignée, Cervero et Murakami (2010) ont trouvé que la densité des routes encouragerait l'usage de la voiture pour les déplacements.

Tableau 4-7 : impact des déterminants du design sur le déplacement motorisé. Source : Recensement par S. Boukarta.

Facteurs étudiés	Auteur	Corrélation Positive	Corrélation Négative	Non signifiante
Densité d'intersection	Calabrese et al (2012), Ding et al (2017), Khan et al (2014), Zhang et al (2014), Salat (2011)	Ding et al (0.113/TC), Zhang et al (0.146),	Calabrese et al (-0.0758), Khan et al (-4.00% et +42.8% pour la marche à pied), Salat (2011).	/
Densité de route	Cervero et Murakami (2010).	Cervero et Murakami (0.419) .	/	/

4.1.4. Distance aux transports en commun TC

La distance au moyen de transport en commun situés près des habitations, constitue un des déterminants les plus importants expliquant le recours aux déplacements motorisés. La plupart des études ont trouvé que la distance aux TC est positivement corrélée avec les déplacements motorisés : plus la distance devient importante plus grand sera l'usage de la voiture pour les déplacements. Acker et Witlox (2010) et Calabrese et al (2012), Khan et al (2014) et Ding et al (2017) affirment que le fait de doubler la distance des TC, provoque que les distances parcourues en voitures augmentent de 3.4%, 3.04%, 13.2% et 4.7% respectivement. Ding et al (2017) ont aussi trouvé que l'usage des TC baisse de -11.4% si la distance au TC est doublée. Et dans le modèle développé par Kitamura et al (1997), et à travers une comparaison entre 6 quartiers à San Francisco, les chercheurs ont trouvé que la distance au TC est classée comme le deuxième plus important déterminant du modèle avec un coefficient de 0.765, devancé par la possession du permis de conduire (2.005). En Chine, Zhang et al (2014) ont trouvé que la présence des arrêts de bus dans un rayon de 1000 m réduirait les distances parcourues en voiture de 6.2%. Enfin certaines recherches,

comme celle portée par Naess (2014) en comparaison entre la Chine et le Danemark, la distance au TC s'est révélée sans effet sur les distances séparant les habitations du centre de la ville de Hangzhou. Tandis qu'à Copenhague (Danemark), Naess (2014) a trouvé ce qu'il nomme « exemple de logique inversée » : la proximité des arrêts de train incite les habitants à choisir de vivre en banlieue, loin du centre-ville de Copenhague.

Tableau 4-8 : Impact des déterminants du design sur le déplacement motorisé. Source : Recensement par S. Boukarta.

Déterminant	Auteur	Corrélation Positive	Corrélation Négative	Non significative
Distance au TC à partir du domicile.	Ackera et Witlox (2010), Calabrese et al (2012), Chen et al (2007), Ding et al (2017), Khan et al (2014), KITAMURA et al (1997), Naess (2014) Copenhague, Naess (2014) chine, Zhang et al (2014),	Ackera et Witlox (0.034), Calabrese et al (0.0304), Chen et al (0.25 E-04), Khan et al (13.2%), KITAMURA et al (0.765), Ding et al (0.047), Naess, Copenhague (0.14),	Zhang et al (-0.062),	Naess, Chine (ns),
Distance au TC at work	Chen et al (2007)	Chen et al (0.28 E-04)	/	/
Nbr de stop par déplacement	Chen et al (2007),	Chen et al (0.071),	/	/

Egalement, la distance au TC près des lieux de travail est positivement et faiblement corrélée avec les distances parcourues en voiture. Chen et al (2007) ont trouvé que l'impact de la distance au TC est faible et quasiment le même sur les distances parcourues en voiture et celles près des habitations ou des zones d'emplois, 0.0025% et 0.0025% respectivement. Aussi, et dans la même recherche, les auteurs ont trouvé que le nombre d'arrêts de TC par trajet incite à utiliser davantage la voiture pour les déplacements de 7.1%. La quasi-totalité des recherches ont démontré que la proximité des TC par rapport aux zones d'habitation ou zones d'emploi permettrait de réduire les distances parcourues en voiture et son impact est compris entre 0.0025% et 13.2%.

4.1.5. Distance de la destination

La distance séparant deux points peut être rapportée par rapport à une échelle spatiale ou temporelle. La durée du déplacement incite à augmenter la part modale des déplacements motorisés. Pan et al (2008) ont trouvé que le choix de la voiture comme moyen de déplacement augmente de 1.03 fois pour chaque minute de plus. Alors qu'à l'échelle de la région de New York, Chen et al (2007) ont trouvé que plus la durée de déplacement augmente moindre sera la propension d'usage de la voiture. Dans la même lignée, et en considérant des chaines de déplacement au lieu d'un seul déplacement, Ma et al (2014) ont trouvé qu'en Chine, les habitants ont tendance à faire moins de déplacements quand la durée de ce dernier est importante. Aussi, la même étude a révélé que la population habitant les quartiers denses caractérisés par la facilité d'accès au centre et aux services, a tendance à quitter leurs domiciles plus souvent.

Tableau 4-9 : Effets des déterminants du registre « distance de destination ». Source : Recensement par S. Boukarta.

Déterminant	Auteur	Corrélation Positive	Corrélation Négative	Non signifiante
Durée du déplacement	Pan et al (2008), Chen et al (2007), Ma et al (2014),	Pan et al (1.030, odds ratio, choix de la voiture),	Chen et al (-0.0032), Ma et al (-0.529 dans la génération de chaîne de déplacement),	/
Vitesse des bus	Newman et Kenworthy (1989),	Newman et Kenworthy (0.2734)	/	/
Vitesse de train	Newman et Kenworthy (1989),	/	Newman et Kenworthy (-0.0481),	/
L'accessibilité au travail	Ackera et Witlox (2010),	Ackera et Witlox (0.026)	/	/
Distance vers autre que travail	Calabrese et al (2012),	Calabrese et al (0.4763),	/	/
Distance au travail	Newman et Kenworthy (1989), Ding et al (2017), Zhang et al (2014),	Newman et Kenworthy (0.7620)	Ding et al (-0.041/TC), Zhang et al (-0.056),	/
Distance au travail <10km	Marique (2013), Calabrese et al (2012),	/	Marique (-0.421), Calabrese et al (-0.3917),	/
distance au centre	Ackera et Witlox (2010), Feng et al (2013), Holden et Norland (2005), Næss (2010),	Ackera et Witlox (0.013), Holden et Norland (108 kwh/cap), Næss (0.098).	Feng et al (-0.092, en chine),	Feng et al (ns, pays bas),

Newman et Kenworthy (1989) ont trouvé que la vitesse du bus est positivement corrélée avec l'énergie consommée par les voitures (corrélation de Pearson 0.2734). Alors que la vitesse du train a tendance à réduire les distances parcourues en voiture. En Belgique, Acker et Witlox (2010) ont trouvé que les distances parcourues en voiture augmentent de 2.6% pour chaque 15 minutes de plus dans la durée du déplacement vers le lieu de travail. Dans le même pays, Marique (2013) a trouvé que la diversité d'offre d'emploi dans un rayon inférieur à 10 km est associée à une diminution de -0.421 la consommation d'énergie par personne par déplacement (kWh/personne). Calabrese et al (2012) ont trouvé au Massachusetts que les distances parcourues en voiture vers les lieux du travail diminuent de -0.3917 pour chaque 10 km de plus dans la distance vers les lieux du travail. Dans cette étude, la distance aux lieux et hors lieux du travail constitue l'un de plus importants déterminants expliquant le recours à la voiture particulière. A chaque kilomètre de plus vers des destinations hors travail est associée une augmentation de 0.48 de distances parcourues en voiture.

La distance au centre est corrélée positivement avec les distances parcourues en voiture particulière. La distance au centre d'affaire de la ville de Gand, en Belgique, est associée à une augmentation de 0.013 des distances parcourues en voiture. Aux Pays-Bas, Holden et Norland (2010) ont trouvé que pour chaque kilomètre de plus de distance au centre d'Oslo, la consommation d'énergie aux déplacements augmentera de 108kWh/personne.an. Alors que Næss (2010) a également trouvé que la distance au centre est associée positivement avec la consommation d'énergie générée par le déplacement motorisé (Beta=0.098). En Chine (Nankin), Feng et al (2013) ont trouvé que la population résidant dans les zones éloignées du centre parcourt moins de distances quotidiennement (Beta=-0.092) que la population habitant dans/ou proche du centre urbain. Dans la même étude, les auteurs n'ont pas trouvé de corrélation statistiquement significative entre la distance au centre et les distances parcourues. Les auteurs expliquent cela par la distribution des équipements et l'infrastructure viaire de type radial, qui, d'après les auteurs, a tendance à affaiblir les connexions entre les axes.

La distance de la destination semble jouer un rôle important dans l'explication du choix modal et des distances à parcourir et particulièrement pour les destinations hors travail (Calabrese et al : 2012). Les études présentées *supra* utilisent différemment ce déterminant, en produisant des variables différentes, ce qui change l'interprétation et réduit les chances de faire une comparaison des effets. Mais globalement, la distance au centre augmente les distances à parcourir en voiture. Cependant, et dans certains cas, il est recommandé d'explorer les combinaisons potentielles entre la distance de la destination considérée avec d'autres paramètres, tels que la distance au TC, la mixité fonctionnelle ou même la connectivité du réseau viaire en question.

4.2. Impact des données socio-économiques

4.2.1. Coût du déplacement motorisé

Dans la quasi-totalité des études, l'impact du prix du carburant sur la mobilité s'est révélé négatif sur la mobilité motorisée. Une augmentation dans le prix du carburant génère une baisse de la mobilité. Newman et Kenworthy ont trouvé une corrélation négative (-0.6151 corrélation de Pearson). Et Dargay (2004) a trouvé qu'en Angleterre, que le prix du carburant explique de -10 à -18% les distances parcourues en voiture soit -15.3km par semaine. Ainsi, Karathodorou et Noland (2010) ont trouvé à travers une analyse de régression linéaire appliquée sur 82 villes de 42 pays, que l'impact du prix du carburant pourrait réduire les distances parcourues annuellement en voiture de 17.8 à 20.4%.

Tableau 4-10 : Effet du coût du déplacement sur la mobilité motorisée. Source : Recensement par S. Boukarta.

Facteurs étudiés	Auteur	Corrélation Positive	Corrélation Négative	Non significative
Prix du carburant	Newman et Kenworthy (1989), Dargay (2004), Karathodorou et Noland (2010),	/	Newman et Kenworthy (-0.6151), Dargay (-15.3km/w(-0.10), Karathodorou et Noland (-0.204(pour les distance parcourues),	/
Remise sur le prix des tickets TC.	Holden et Norland (2005),	Holden et Norland (662 kwh/ca),	/	/
Coût de déplacement	Chen et al (2007),	/	Chen et al (-0.0013),	/

D'après Holden et Norland (2005), une réduction du prix du carburant générerait une augmentation annuelle de la consommation d'énergie due au transport de près de 662 kWh par personne. A New York, Chen et al (2007) n'ont trouvé aucun effet statistiquement significatif du coût du déplacement sur le taux de possession des voitures, par contre et avec un impact faible, le coût du déplacement est négativement corrélé avec la propension d'usage de la voiture dans les déplacements domicile-travail (-0.0013). L'auteur ajoute qu'une combinaison des variables du coût, d'accessibilité à l'emploi, de densité et d'accessibilité au transport en commun encouragera la population à utiliser les transports en commun pour les déplacements domicile-travail.

4.2.2. Impact du revenu

Le revenu est le déterminant qui revient le plus dans les études portant sur la mobilité. Plusieurs études ont trouvé une corrélation positive entre le revenu et les DPV, un revenu élevé générerait davantage de mobilité motorisée. En Belgique, Acker et Witlox (2010) ont trouvé qu'un revenu supérieur à 3.1K€ explique près de 13% la mobilité motorisée, alors qu'à Seattle, Khan et al (2014) et

Dieleman et al (2002) au Pays Bas ont trouvé respectivement que le revenu a un impact de 6.21% et 2.9%.

Holden et Norland (2005) à Oslo, en Norvège ont trouvé une augmentation de la consommation d'énergie due à la mobilité motorisée de 2 kwh/personne pour chaque 1000 couronnes norvégiennes soit 100€/personne. Et Næss (2010) a trouvé que le revenu est positivement corrélé avec les DPV et explique 1.41 km de plus (Beta= 0.07) pour chaque 1000 Yuan (127€) de plus. Alors que pour le même revenu, et pour les déplacements vers le centre, Naess (2014) a trouvé qu'à Copenhague, une corrélation positive faible, 0.0045 km de plus pour chaque 1000 CD (134€) de plus. L'auteur explique cette faible corrélation par la localisation des habitations, les ménages ayant un revenu supérieur ont tendance à habiter le centre, tandis que les ménages ayant un revenu inférieur ont tendance à habiter la périphérie à proximité des moyens de Transport en commun. La corrélation entre les DPV et la proximité des moyens de TC est négative (Beta=-0.149).

Tableau 4-11 : Impact du revenu sur la mobilité. Source : Recensement par S. Boukarta

Facteurs étudiés	Auteur	Corrélation Positive	Corrélation Négative	Non signifiante
Le revenu	Ackera et Witlox (2010), Brownstone et Golob (2008), cervero et Radlsch (1995), Dieleman et al (2002), Ding et al (2017), Feng et al (2013), Feng et al (2013), Holden et Norland (2005), Jahanshahi et al (2015), Khan et al (2014), Næss (2010), Naess (2014) Copenhague, Naess (2014) chine, pan et al (2008), Zhang et al (2014),	Ackera et Witlox (0.129), Brownstone et Golob (255 ml), Dieleman et al (2.9%), Holden et Norland (2kwh/ca), Jahanshahi et al (27 miles), Khan et al (6.21%), Næss (2010) (1.41 km), Naess (2014) (0.0045km) à Copenhague, Pan et al (1.003 déplacements/jour), Feng et al (- 0.687 par rapport au plus haut revenu),	Ding et al (-0.249 /TC),	Cervero et Radlsch (1995), Feng et al (2013) en chine, Naess (2014) en chine,
Coûts d'achat de voitures	Dargay (2004)	/	Dargay (2004) -63.6 / km (ou -0.35),	

Aussi, Jahanshahi et al (2015), en Angleterre, ont trouvé une corrélation positive entre le revenu et les DPV, les ménages ayant un revenu faible ont tendance à se déplacer moins(-11 miles) que les ménages ayant un revenu moyen, tandis que les ménages ayant un revenu supérieur ont tendance à se déplacer plus (+27 miles). Alors qu'en chine, Zhang et al (2014) ont trouvé que les ménages ayant un revenu annuel supérieur à 60000 RMB (7500€) ont tendance à se placer 2.521 plus que les ménages ayant un revenu compris entre 20000 et 60000 RMB (2500-7500€). Egalement, au Pays-Bas, Feng et al (2013) ont trouvé que les ménages ayant un faible revenu se déplace -0.687 moins de temps que les ménages ayant un revenu supérieur.

Pan et al (2008) en Chine, ont trouvé que le revenu peut augmenter la part modale de la voiture de seulement 1.003 fois par rapport au TC et Ding et al (2017) aux Etats-Unis ont trouvé un effet total négatif du revenu sur la part modal de la voiture. D'après les auteurs, le taux de possession des voitures dans l'échantillon est à l'origine du faible impact du revenu sur les DPV. D'autres recherches n'ont trouvé aucun effet statistiquement significatif sur les DPV (Cervero et Radlsch : 1995, Feng et al : 2013, Naess : 2014).

Le coût d'achat des voitures est un déterminant aussi important que le revenu, Dargay (2004) a trouvé que le coût d'achat des voitures impacte négativement les DPV et tendent à les réduire de 63 km par semaine.

4.2.3. Impact de la taille des ménages, statut marital, nombre d'enfants par ménage et l'âge

La taille des ménages dans la plupart des études est négativement corrélée avec la mobilité motorisée. Cervero et Radlsch (1995) ont trouvé qu'avec la taille des ménage, le recours aux moyens de transport hors voiture (TC, vélo et à pied) s'élève à 0.3067. Aussi, Ding et al (2017) à Baltimore, Pan et al (2008) en Chine ont observé que le déterminant « taille du ménage » permet de réduire la part modale de la voiture de -0.561 fois par rapport au TC. Ma et al (2014) ont trouvé une corrélation négative entre la taille des ménages et les déplacements en chaîne (-0.063). Alors qu'à Seattle, Khan et al (2014) ont trouvé que la taille des ménages impacte positivement (de 25%) les distances parcourues en voiture. Les auteurs expliquent cette tendance par la présence des enfants de bas âge et sans permis de conduire dans les ménages. Certains chercheurs n'ont trouvé aucun effet statistiquement significatif de la taille des ménages sur la DPV (Chen et al : 2007, Manaugh et al : 2009). Chen et al (2007) ont trouvé que l'effet de la taille des ménages est plus constaté chez les ménages ayant des enfants de moins de six ans.

Tableau 4-12 : corrélation des caractéristiques des ménages avec la mobilité motorisée. Recensement par S. Boukarta

Déterminant	Auteur	Corrélation Positive	Corrélation Négative	Non signifiante
Taille des ménages	cervero et Radlsch (1995), Chen et al (2007), Ding et al (2017), Khan et al (2014), Ma et al (2014), Manaugh et al (2009), Pan et al (2008),	Khan et al (25.1%),	cervero et Radlsch (0.3067 (avec non auto mobilité), Ding et al (-0.561/TC), Ma et al (-0.063(dans la génération de chaîne de déplacement), Pan et al (0.594 (RC, rapport des chances),	Chen et al (2007), Manaugh et al (2009)
Famille célibataire	Feng et al (2013), Feng et al (2013), Brownstone et Golob (2008), Ackera et Witlox (2010),	/	Ackera et Witlox (-0.110),	Feng et al (2013) en chine (ns), Feng et al (2013) au pays bas (ns), Brownstone et Golob (2008)
Nbr d'adultes	Dargay (2004),	Dargay (51.4 km),	/	/
Nbr d'enfants	Brownstone et Golob (2008), Dargay (2004), Ding et al (2017), Ma et al (2014),	Brownstone et Golob (40 gallons), Ding et al (0.454/TC),	Dargay (-14.5 km), Ma et al (-0.396 (dans la génération de chaîne de : déplacement),	/
Nbr d'enfants scolarisés	Zhang et al (2014), Naess (2014) Copenhague, Naess (2014) chine,	Zhang et al (0.109), Naess (2014) chine (0.466 km)	/	Naess (2014) Copenhague (ns),

Globalement, le **statut marital** semble ne pas avoir un effet sur la variabilité de la mobilité motorisée (Feng et al : 2013, Brownstone et Golob : 2008). Alors que Acker et Witlox (2010) ont trouvé que les familles célibataires ont tendance à utiliser moins les déplacements motorisés (Beta=-0.11). Le nombre d'adultes par ménage explique la variabilité des déplacements motorisés jusqu'à 51.4 km (Dargay : 2004), alors que le nombre d'enfants par ménage a tendance à baisser les DPV et les chaînes de déplacements jusqu'à -14.5km/semaine (Dargay : 2004) et -0.369 (Ma et al : 2014) respectivement. En Californie, Brownstone et Golob (2008) ont trouvé que le nombre d'enfants par

ménages explique une augmentation dans la consommation du carburant de près de 150L/an (40 gallons). Les auteurs expliquent cette corrélation positive par la tendance des familles californienne ayant des enfants à choisir des localités à faible densité résidentielle et se procurer une voiture familiale (type Van ou SUV) ce qui augmente à la fois les DPV et les consommations du carburant. Dans la même lignée, Zhang (2014) en Chine et Naess (2014) à Copenhague ont trouvé que le nombre d'enfants scolarisés est corrélé positivement avec les DPV et à tendance à les augmenter de 0.466 km/jour ou (Beta=0.081) et 10.9% de déplacement/jour pour chaque enfant scolarisé de plus respectivement.

L'âge de la population est dans la plupart des études corrélé négativement avec les DPV. Son impact sur la mobilité motorisée varie dans de -0.064 en Belgique (Ackera et Witlox : 2010) et -0.094 en Californie Handy et al (2005). A Montréal, Manaugh et al (2009) ont trouvé que les personnes âgées ont tendance à se rapprocher de leur lieux de travail (-30.8km). Aussi, à Shanghai, Pan et al (2008) ont trouvé que les personnes âgées ont tendance à utiliser la voiture -0.025 par rapport aux autres moyens de transport. Alors qu'à Hangzhou, l'âge n'explique que -0.013 km/jour de moins en terme de DPV (Naess : 2014) et +0.088km/jour à Copenhague (*Idem*). L'auteur explique cette opposition en termes d'effet de l'âge par l'effet de style de vie. Les jeunes instruits de Copenhague ont tendance à habiter le centre alors que c'est l'inverse qui se fait à Hangzhou. A New York, Chen et al (2007) ont aussi trouvé une corrélation positive avec les DPV (0.01). Les auteurs expliquent cette corrélation par le fait que les personnes âgées ont tendance à utiliser la voiture plus que les jeunes, car le taux de possession des voitures est plus élevé chez les personnes âgées. Holden et Norland (2005) ont trouvé que l'âge, à Oslo, n'a pas d'effet statistiquement significatif sur les DPV.

Tableau 4-13 : Impact de l'âge sur la mobilité motorisée. Source : Recensement par S.Boukarta

Déterminant	Auteur	Corrélation Positive	Corrélation Négative	Non signifiante
Age	Ackera et Witlox (2010), Chen et al (2007), Handy et al (2005), Holden et Norland (2005), Manaugh et al (2009), Naess (2014) Copenhague, Naess (2014) chine, Pan et al (2008),	Chen et al (0.010), Naess (0.088 km, chine),	Ackera et Witlox (-0.064), Handy et al (-0.094), Manaugh et al (-30.8), Naess (-0.013 km,,), Pan et al (0.975, odd ratio, choix de la voiture),	Holden et Norland (2005),
Age moyen des adultes	Holden et Norland (2005),	/	/	Holden et Norland (-12 kwh/ca NS),
Nbr d'enfants moins de 5	Calabrese et al (2012), Naess (2010)	/	/	Calabrese et al (2012), Naess (2010)
Nbr d'enfant, 7- 17	Naess (2010), Naess (2014), Naess (2014)	Naess (2014) à copenhague 0.592,	/	Naess (2010), Naess (2014) chine,
Age 18-29	Limtanakool et al (2006)	Limtanakool et al (- 0.346 train/voiture (B))	/	/
Age 16-39/ 40- 59	Ding et al (2017),	Ding et al (0.039 /TC),	/	/
Age plus de 59/ 40-59	Ding et al (2017),	Ding et al (0.217/TC),	/	/
Age de plus de 50 ans	Ma et al (2014),	Ma et al (1.250 (dans la génération de chaîne de déplacement),	/	/
Age de plus de 60 ans	Feng et al (2013), Feng et al (2013), Limtanakool et al (2006),	/	Feng et al (-0.622 chine), Feng et al (-0.773 pays bas),	Limtanakool et al (ns (D>50km),

Les études considérant l'âge moyen des adultes par ménages sont rares et l'étude de Holden et Norland (2005) n'a trouvé aucun lien statistiquement significatif entre l'âge moyen et la consommation d'énergie générée par la mobilité à Oslo. Par contre, en Angleterre, et en se basant sur la méthode pseudo-panel considérant la population sous forme de groupes stables au lieu d'individus et les DPV entre 1970 et 1995, Dagrav (2004) a trouvé que la corrélation entre l'âge et la mobilité motorisée n'est pas linéaire et qu'elle suit trois phases (Voir figure ci-dessous).

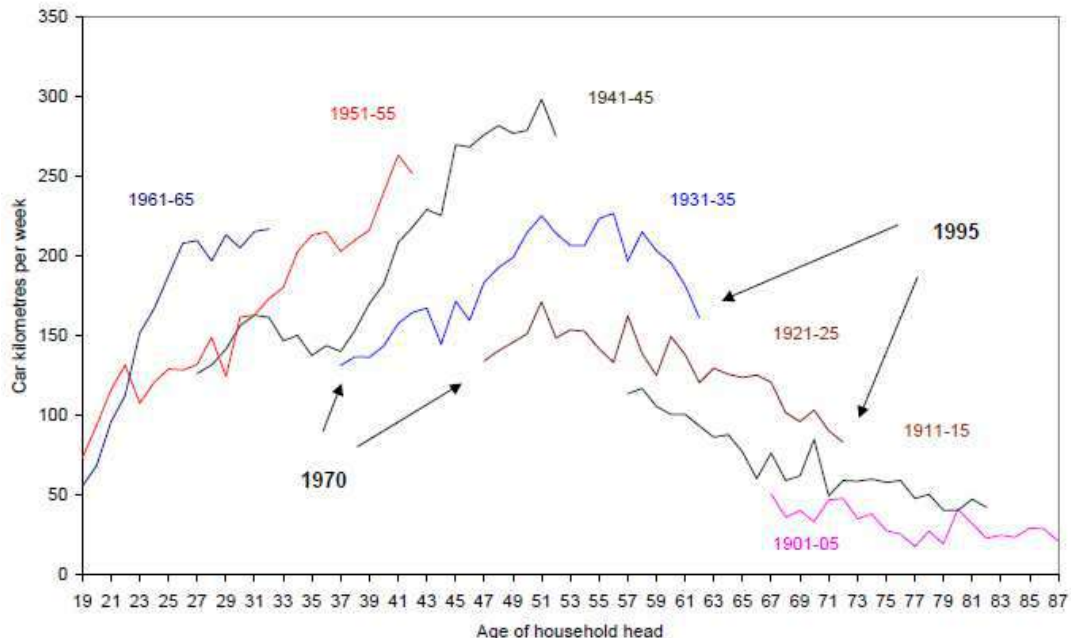


Fig 4- 9 : Distance parcourue en voiture en Angleterre par cohorte pour la période 1970-95. Source : Dagrav (2004)

En 1970, la cohorte en bleu représentant les ménages dont le responsable est né entre 1931 et 1935, montre l'âge moyen de cette cohorte de 37 ans et les DPV qui sont en moyenne de 150 km par semaine. La possession des voitures et son usage augmente jusqu'à l'âge de 50 ans pour atteindre une moyenne de 225km à partir duquel la DPV commence à baisser jusqu'à l'âge de 62 ans, avec une moyenne de 175km par semaine.

Le **nombre d'enfants** de moins de 5 ans (Calabrese et al : 2012), et de 7 ans (Næss : 2010) n'a pas d'effet statistiquement significatif sur les DPV des ménages. Alors que le nombre d'enfants âgés de 7 à 17 ans est associé à une localisation de 0.592 km par rapport au centre de Copenhague. L'auteur explique cette tendance de se localiser loin du centre par le style de vie des ménages qui ont tendance à chercher la proximité des écoles, quitte à s'éloigner du centre. Limtanakool et al (2006) ont trouvé que les personnes dont l'âge est compris entre 18 à 29 ans ont tendance à choisir la voiture par rapport au train pour des distances dépassant les 50km. Ainsi, Ding et al (2017), à Baltimore, ont trouvé que la catégorie d'âge 16-39 ans et plus de 59 ans ont tendance à choisir la mobilité motorisée de 3.9% et 21.7% respectivement par rapport au TC, comparé à la catégorie d'âge de 40-59 ans. Et enfin, les personnes âgées de 60 ans et plus ont tendance à utiliser 62.2% et 77.3% de moins la voiture particulière en Chine et au Pays-Bas respectivement (Feng et al : 2013). Aussi, en Chine, Ma et al (2014) ont trouvé que la catégorie d'âge de 50 ans et plus est associée à 25% de déplacement en chaîne. Autrement dit, cette catégorie d'âge cherche à fructifier davantage ses sorties en visant plusieurs destinations par sortie.

4.2.4. Impact de l'occupation du ménage sur la mobilité

A travers la revue de la littérature scientifique portant sur la mobilité, l'occupation des ménages est statistiquement associée à la variation de la part modale des déplacements et les distances parcourues en voiture. En Californie, Brownstone et Golob (2008) ont trouvé que le nombre de personnes employées par ménage explique, annuellement, 23 327 miles de déplacement motorisés. Alors qu'en termes d'énergie consommée pour les déplacements motorisés, à Oslo, Holden et Norland (2005) ont trouvé que les employés consomment 1050 kWh/personne par rapport aux personnes non employées. Zhang et al (2014) en Chine, Khan et al (2014) à Seattle, et Calabrese et al (2012) à Massachusetts ont trouvé que le nombre de personnes employés par ménages explique 10.4%, 7.47% et 15.09% les distances parcourues en voiture (Voir tableau ci-dessous).

Tableau 4-14 : Impact de l'occupation du ménage sur la mobilité. Source : Recensement S. Boukarta

Déterminant	Auteur	Corrélation Positive	Corrélation Négative	Non signifiante
Nombre de personnes employées.	Zhang et al (2014), Khan et al (2014), Brownstone et Golob (2008), Calabrese et al (2012), Holden et Norland (2005),	Zhang et al (0.104), Elasticité, Khan et al (7.47%), Brownstone et Golob (23327miles/an et 3 employés), Calabrese et al (0.1509), Holden et Norland (-1050Kwh/p, les non-employer=1, other=0)	/	/
Nbr de Retraité.	Brownstone et Golob (2008)	/	Brownstone et Golob (3729 ml/an, 0.59)	/
Emploi plein-temps et à temps partiel.	Ackera et Witlox (2010), Jahanshahi et al (2015), Manaugh et al (2009),	Ackera et Witlox (0.027),	Jahanshahi et al (-0.003 / part time job),	Manaugh et al (ns),

Le nombre de retraités par ménage a tendance à réduire le recours à la mobilité motorisée, ce qui réduit les distances parcourues en voiture. Brownstone et Golob (2008) ont trouvé que le nombre des retraités réduit les DPV de 3729 miles/an soit 59%. Que l'emploi soit considéré à temps partiel ou à temps plein, son effet reste faible. Ackera et Witlox (2010) en Belgique ont trouvé qu'un emploi à plein temps explique 2.7% la variation des DPV, alors qu'un emploi à temps partiel réduirait seulement de 0.3% les DPV (Jahanshahi et al : 2015).

4.2.5. Impact du genre sur la mobilité

Les recherches ont confirmé l'intuition qui suppose que le genre masculin conduit davantage de distance par rapport au genre féminin. Ding et al (2017), Feng et al (2013) et Handy et al (2005) et Pan et al (2008) ont trouvé que le genre masculin a tendance à conduire davantage de distance en voiture par rapport au genre féminin, 4%, 21.8%, 14% et 45.1% respectivement. En termes de distance, la différence de distances parcourues en voiture a été estimée par Jahanshahi et al (2015) en Angleterre et Næss (2010) en Chine de 11 miles et 1.24 km par semaine respectivement. Néanmoins certaines études n'ont trouvé aucun effet statistiquement significatif du genre sur les distances parcourues en voiture (Manaugh et al : 2009, Naess : 2014), ni sur les chaînes de déplacement (Ma et al : 2014).

Tableau 4-15 : Corrélations du genre avec la mobilité. Source : Recensement par S.Boukarta

Déterminant	Auteur	Corrélation Positive	Corrélation Négative	Non signifiante
Mâle	Ding et al (2017), Jahanshahi et al (2015), Manaugh et al (2009),	Ding et al (0.04), Jahanshahi et al (11miles),	/	Manaugh et al (2009),
Femelle	Feng et al (2013), Handy et al (2005), Holden et Norland (2005), Ma et al (2014), Næss (2010), Næss (2014) Copenhague, Næss (2014) chine, Pan et al (2008)	/	Feng et al (-0.218 (mâle)), Handy et al (-0.140), Holden et Norland (-845kwh/cap par rapport aux mâles), Næss (2010) -1.24 km par rapport aux hommes, Pan et al (0.549 (odds ratio /hommes),	Ma et al (0.290 ns (dans la génération de chaîne de déplacement)), Næss (2014) Copenhague, Næss (2014) chine,

4.2.6. Impact de la possession des voitures et du permis de conduire sur la mobilité

Intuitivement, la **propriété des voitures** et les DPV sont fortement corrélés et Newman et Kenworthy en 1989 ont estimé la corrélation (de Pearson) de l'ordre de 0.6574. En termes d'influence de la propriété d'une voiture sur la mobilité, Chen et al (2007), Ackera et Witlox (2010) ont trouvé que la propriété d'une voiture au moins par ménage est associée à 10.2% et 22.4% de distances parcourues en voiture. Alors que Holden et Norland (2005), Næss (2010) et Jahanshahi et al (2015) ont trouvé que la propriété d'une voiture expliquerait une consommation d'énergie due à la mobilité de 1727 kWh/personne, 5.65 km et 4 miles par semaine de plus, respectivement. Dans la même lignée, Ding et al (2017) et Zhang et al (2017) ont trouvé respectivement que la possession d'une voiture réduirait de -0.974 la part modale des transports en commun et de la marche à pied, et augmenterait de 17.7 fois le recours à la voiture pour les déplacements.

Le nombre de voitures par ménage et par adulte permet d'expliquer davantage les DPV. Cervero et Radlsch (1995), KITAMURA et al (1997) et Pan et al (2008) ont trouvé que le nombre de voitures par adulte réduit la part modale des moyens de déplacement hors voiture de 0.7798, 0.387 et 3.652 fois respectivement. Enfin, Manaugh et al (2009) n'ont pas trouvé un lien significatif entre le nombre de voiture par ménage et le choix d'une habitation en sous-région.

Tableau 4-16 : Impact de la possession des voitures sur la mobilité. Source : Recensement par S. Boukarta

Déterminant	Auteur	Corrélation Positive	Corrélation Négative	Non signifiante
Sans voiture	Jahanshahi et al (2015)	/	Jahanshahi et al (-4miles)	/
Possession de voiture	Ackera et Witlox (2010), Newman et Kenworthy (1989), Chen et al (2007), Ding et al (2017), Holden et Norland (2005), Karathodorou et noland (2010), Næss (2010), Zhang et al (2014),	Ackera et Witlox (0.224), Newman et Kenworthy (0.6574), Chen et al (0.102), Holden et Norland (-1727kwh/ca (yes=0, no=1), Næss (5.65 km), Zhang et al (17.7 fois plus)	Ding et al (-0.974/TC), Karathodorou et noland (-0.361 (pour les distance parcourues),	/
Nbr de voiture par ménage	cervero et Radlsch (1995), Khan et al (2014), KITAMURA et al (1997), Pan et al (2008),	cervero et Radlsch (-0.7798 (avec non auto mobilité), Khan et al (8.79% et - 25.8% pour la marche), KITAMURA et al (0.387), Pan et al (3.652 (odds ratio) ,	/	/

La **propriété d'un permis de conduire** incite à générer davantage de distances en voiture. En Belgique, Ackera et Witlox (2010) ont trouvé que les personnes n'ayant pas un permis de conduire sont associées à une baisse de -27.2% des distances parcourues en voiture. Alors que le nombre de personnes ayant un permis de conduire expliquerait 6.93% les DPV (Khan et al : 2014) et induirait plus de 2.7 km par semaine de distances parcourues en voiture en Chine (Naess : 2010) et 0.086 kWh par personne et par semaine en Norvège (Handy et al : 2005).

Tableau 4-17 : Impact de la possession du permis de conduire sur la mobilité. Source : Recensement par S. Boukarta

Déterminant	Auteur	Corrélation Positive	Corrélation Négative	Non signifiante
Pas de permis de conduire	Ackera et Witlox (2010),	/	Ackera et Witlox (-0.272)	/
Permis de conduire	Handy et al (2005), Khan et al (2014), KITAMURA et al (1997), Næss (2010),	Handy et al (0.086 kwh/ca), Khan et al (6.93%),KITAMURA et al (2.005 (le plus important dans le modèle coéf),Næss(2.7km, Beta= 0.15)	/	/
Nbr de membre ayant P Conduire	Brownstone et Golob (2008)	Brownstone et Golob (13652 miles)	/	/

4.2.7. Impact du niveau d'éducation et d'attitudesur la mobilité

L'impact du **niveau d'éducation** sur la mobilité est variable dans la littérature scientifique, entre une corrélation positive, négative et non significative. Feng et al (2013) en Chine et Pays-Bas, Marique (2013) en Belgique ont trouvé qu'un écart type de plus dans la proportion des personnes ayant niveau d'éducation élevé générera respectivement 0.234, 0.181 et 0.168 plus de distances parcourues en voiture. Calabrese et al (2012) ont trouvé une corrélation négative entre le niveau d'éducation et les distances parcourues en voiture (Beta=-0.0817) sans donner d'explication à la tendance inversée, mais l'examen de la moyenne des personnes ayant un niveau universitaire dans l'échantillon dépasse 85% ce qui ne permet pas d'apprécier avec plus de précision l'impact du niveau d'éducation sur la mobilité. Au Pays-Bas, Dieleman et al (2002) ont trouvé que les personnes ayant un niveau d'éducation supérieur ont tendance à choisir 4.3% plus la mobilité motorisée par rapport au transport public et le niveau d'éducation n'explique que 0.2% les distances parcourues en voiture. D'autres recherches ont trouvé que le niveau d'éducation n'as pas d'effet statistiquement significatif sur l'énergie consommée pour la mobilité à Oslo (Holden et Norland : 2005) et en chine (Naess : 2010). Holden et Norland (2005) n'ont pas donné d'explication à leurs résultats et les données de l'échantillon n'ont pas été fournies. Par contre, Næss (2010) a expliqué cette corrélation non significative par la proportion faible des personnes ayant un niveau universitaire dans l'échantillon (11.2%). Aussi, l'examen de la catégorie des universitaires considérée individuellement corrobore la tendance générale, car les personnes ayant un niveau universitaire à Hangzhou sont prédisposées à avoir un revenu supérieur et à se procurer une voiture et habiter loin du centre de Hangzhou (12.4 km).

Tableau 4-18 : Impact du niveau d'éducation et d'altitude sur la mobilité. Source : Recensement par S. Boukarta

Déterminant	Auteur	Corrélation Positive	Corrélation Négative	Non significative
Education	Calabrese et al (2012), Dieleman et al (2002), Feng et al (2013), Feng et al (2013), Holden et Norland (2005), Limtanakool et al (2006), Marique (2013), Næss (2010).	Feng et al (0.234 chine), Feng et al (0.181 Pays-bas), Marique (0,168),	Calabrese et al (-0.0817), Dieleman et al (0.002), Limtanakool et al (-1.533(B) et D>50km de train/voiture et low éducation/éducation supérieure),	Holden et Norland (2005), Næss (2010).
attitude Pro-environnement	KITAMURA et al (1997), Holden et Norland (2005), Næss (2010),	/	KITAMURA et al (-0.148)	Holden et Norland (-9kwh/ca ns), Næss (ns),
attitude Pro-automobile	KITAMURA et al (1997)	KITAMURA et al (0.445)		
attitude Pro-vélo	Handy et al (2005),	/	Handy et al (-0.054),	/
attitude Pro-TC	Handy et al (2005), KITAMURA et al (1997)	/	Handy et al (-0.048), KITAMURA et al (-0.222)	/
<i>Workaholic</i> , bourreau de boulot	KITAMURA et al (1997)	KITAMURA et al (0.120)	/	.
Attitude liée à la sécurité procurée par les déplacements en voiture.	Handy et al (2005),	Handy et al (0.060),	/	/
attitude de dépendance à la voiture.	Handy et al (2005),	Handy et al (0.271),	/	/

La question de l'**attitude des ménages** et individus a aussi été examinée dans la littérature scientifique. KITAMURA et al (1997) à San Francisco ont trouvé pour chaque écart type de plus dans la proportion des pro-environnements, induira une baisse de -14.8% de distances parcourues en voiture. Alors que les personnes pro-automobiles sont associées à 44.5% des distances parcourues en voiture. Dans une autre étude, Handy et al (2005) en Californie, les pro-vélos et les pro-TC n'expliquent que -0.054 et -0.046 respectivement les distances parcourues en voiture pour chaque écart type de plus. Par contre, KITAMURA et al (1997) ont trouvé un impact élevé des pro-TC expliquant jusqu'à -22.2% de déplacements en voiture. Les personnes pro-automobiles cherchant la sécurité qu'elle en procure et les personnes dépendantes des voitures génèrent 0.058 et 0.271 de plus de mobilité motorisée par écart type (Handy et al : 2005) et le nombre d'individus accro au travail explique 12% de distances parcourues en voiture à San Francisco (KITAMURA et al : 1997).

4.3. Synthèse de la caractérisation énergétique de la mobilité

La présente revue de la littérature scientifique porte sur l'effet des caractéristiques socio-économiques et de l'environnement bâti en tant que déterminants potentiels pouvant modérer la demande des déplacements motorisés. Parmi les publications revues dans le présent état de l'art, il est aisément remarquable la dominance des études dans les pays occidentaux. Dans leurs cultures, les enquête-ménages portant sur la mobilité sont au moins réalisées une fois tous les dix ans, alors que dans les pays en voie de développement et en particulier l'Algérie, il n'y a pas d'enquête spécifiquement conçue et portée pour la mobilité selon une fréquence déterminée (sauf pour le cas d'Alger). En d'autres termes, la fréquence des études par pays est en bonne partie conditionnée par la disponibilité des données. Car les enquêtes ménage de déplacement sont lourdes en terme du temps et du coût. Les pays représentés dans notre état de l'art sont organisés dans le tableau ci-dessous, comprenant aussi le nombre d'études par pays. Le choix s'est porté principalement sur les

pays développés (occidentaux) et en voie de développement de l'extrême orient (Chine et Vietnam), car comportant des analyses de sensibilité qui permettent d'évaluer l'impact des déterminants sur la mobilité motorisée et la consommation de l'énergie qui en découle.

Tableau 4-19 : Nombre d'études retenues par pays.

Pays	Algérie	Belgique	Canda	Chine	Danemark	international	Norvège	Pays-Bas	UK	US
Nombre d'études	2	2	1	6	1	2	1	3	3	9

Le présent état de l'art comprend deux grands registres affectant la mobilité : les données socio-économiques et l'environnement bâti. En tout, 67 déterminants ont été considérés dans le présent état de l'art dont 29 portent sur l'impact de l'environnement bâti et 38 déterminants portant sur les caractéristiques socio-économiques. Les déterminants caractérisant l'environnement bâti sont organisés selon les registres 5D développés à travers la méta-analyse d'Ewing et Cervero (2010). La densité est représentée par 5 déterminants, le design (7), la diversité (6), la distance au TC (3) et la distance de la destination (8). Alors que les données socio-économiques ont été organisées comme suit : le coût du déplacement (3), le revenu (2), la taille des ménages, le statut marital et le nombre d'enfant par ménage (5), l'âge (9), l'occupation des membres des ménages (3), le genre (2), la possession des voitures (3), la possession des permis de conduire (3), le niveau d'éducation et les attitudes (8).

La discussion des déterminants s'est faite selon la nature de la corrélation avec la mobilité. On a classé chaque effet selon sa corrélation qui est souvent présentée sous forme de coefficient Beta avec et sans standardisation et parfois sous forme d'effet direct et indirect estimé par des modèles d'équation structurelle. La corrélation déterminant-mobilité motorisée peut être positive, négative ou non significative. La synthèse des effets est présentée dans le tableau ci-dessous qui reprend le nombre d'étude par déterminant, le nombre de corrélation positive, négative et non significative. Sur la base de la somme des effets par déterminant, l'effet principal est ensuite donné comme orientation et indication et non comme confirmation de la nature de la corrélation et si l'effet n'a pas un penchant positif ou négatif clair, son effet sera considéré comme contrasté dans la littérature scientifique.

D'après le tableau de synthèse, les déterminants tendant à réduire le recours à la mobilité motorisée selon le registre des données socio-économiques sont : le prix du carburant, le coût du déplacement, le coût d'achat de voitures, la taille des ménages, l'âge de 60 ans et plus, le nombre des retraités, le genre féminin, la non possession de voiture et de permis de conduire et les attitudes pro-vélo et pro-TC. En d'autres termes, la mobilité motorisée est influencée par le coût du déplacement (le prix du carburant, le coût du déplacement, le coût d'achat de voitures) et l'obligation de déplacement pour répondre aux besoins des membres des ménages (occupation des membres de la famille, enfants scolarisé, travail).

Parmi les déterminants pouvant réduire la part modale des déplacements en voiture dans le registre de l'environnement bâti on trouve : la densité (la densité de population, la densité d'emploi), le design (la densité d'intersections), la diversité (la mixité fonctionnelle, la densité de service sur le lieu de travail, la mixité verticale), la distance au TC, et la distance au travail dépassant les 10km.

Tableau 4-20 : Synthèse des effets des déterminants sur la demande de la mobilité. Source : S.Boukarta

Déterminants socio-économiques	S	P	N	I	E-P	Environnement bâti	S	P	N	I	E-P
Prix du carburant	3	0	3	0	p	Densité de population	12	1	7	4	p
Remise sur le prix des tickets TC.	1	1	0	0	N	Densité bâtie (COS)	2	0	1	1	Co
Coût de déplacement	1	0	1	0	p	Densité au sol (CES)	1	0	1	0	Co
Le revenu	15	11	1	3	N	Densité d'emploi	2	0	2	0	p
Coût d'achat de voitures	1	0	1	0	p	Densité de commerce	2	1	0	1	Co
Taille des ménages	7	1	4	2	p	Mixité fonctionnelle	9	0	5	4	p
Famille célibataire	4	0	1	3	I	épicerie à moins de 1600 m	1	0	1	0	p
Nbr d'adultes	1	1	0	0	Co	Pharmacie à moins de 1600m	1	0	1	0	p
Nbr d'enfants	4	2	2	0	Co	Densité de service sur le lieu de travail	1	0	1	0	p
Nbr d'enfants scolarisés	3	2	0	1	N	Présence de parking	2	2	0	0	N
Age	8	2	5	1	p	Mixité verticale	1	0	1	0	p
Age moyen des adultes	1	0	0	1	I	Densité d'intersection	5	2	3	0	p
Nbr d'enfants moins de 5	2	0	0	2	I	Densité de route	1	1	0	0	N
Nbr d'enfant, 7-17	3	2	0	1	N	distance au TC à partir du domicile.	9	6	2	1	N
Age 18-29	1	1	0	0	N	Distance au TC at work	1	1	0	0	N
Age 16-39/ 40-59	1	1	0	0	N	Nbr de stop par déplacement	1	1	0	0	N
Age plus de 59/ 40-59	1	1	0	0	N	Durée du déplacement	3	1	2	0	p
Age de plus de 50 ans	1	1	0	0	N	Vitesse des bus	1	1	0	0	N
Age de plus de 60 ans	3	0	2	1	p	Vitesse de train	1	0	1	0	p
Nombre de personne employées.	5	5	0	0	N	L'accessibilité au travail	1	1	0	0	N
Nbr de Retraité.	1	0	1	0	p	Distance vers autre que travail	1	1	0	0	N
Emploi plein-temps et à temps partiel.	3	1	1	1	Co	Distance au boulot	3	1	2	0	p
Mâle	3	2	0	1	N	Distance au travail <10km	2	0	2	0	p
Femelle	8	0	4	4	p	distance au centre	5	3	1	1	N
Sans voiture	1	0	1	0	p	Légende : type d'effet principal					
Possession de voiture	8	6	2	0	N	Négatif	N				
Nbr de voiture par ménage	4	4	0	0	N	Positif	P				
Pas de permis de conduire	1	0	1	0	p	insignifiant	I				
Permis de conduire	4	4	0	0	N	Contrasté	Co				
Nbr de membre ayant Permis de Conduire	1	1	0	0	N	légende					
Education	8	3	3	2	Co	Nombre d'études	S				
attitude Pro-environnement	3	0	1	2	Co	Effet positif	P				
attitude Pro-automobile	1	1	0	0	N	Effet négatif	N				
attitude Pro-vélo	1	0	1	0	p	Effet insignifiant	I				
attitude Pro-TC	2	0	2	0	p	Effet principal	E-P				
Workaholic,(accro au travail)	1	1	0	0	N						
Attitude liée à la sécurité de la mobilité	1	1	0	0	N						
attitude de dépendance à la voiture.	1	1	0	0	N						

Les deux registres, caractéristiques socio-économiques et environnement bâti ont un impact sur le report modal et la mobilité motorisée. La comparaison entre les résultats des différentes études est difficile pour les mêmes raisons que celles rapportées dans la synthèse du chapitre 3 et qui sont principalement liées : (i) au mode et à la période de collecte des données, (ii) le mode de traitement des données utilisées (agrégées ou désagrégées), (iii) la taille de l'échantillon, (iv) les méthodes de

sensibilité utilisées et les résultats estimant le potentiel explicatif des déterminants qui sont parfois donnés en coefficient Beta standardisé, non standardisé, effet direct, indirect et total, (v) la variation en termes de variables considérées dans les études, (vi) et enfin, dans plusieurs recherches, les caractéristiques des données (moyenne, écart type, etc.) ne sont pas fournies. Toutes ces contraintes font que la comparaison entre les études devient quasiment impossible. Partant du même constat, Ewing et Cervero (2010), aux Etats Unis, ont, dans un premier temps, regroupés toutes les études réalisées aux Etats-Unis (plus de 200 études), puis, dans un second temps, procédé à identifier et à regrouper les facteurs selon les registres 5D, puis, selon la disponibilité du descriptif des données utilisées dans les études, les auteurs ont procédé à la comparaison. Enfin, 50 études ont été retenues pour effectuer la méta-analyse et évaluer la moyenne du potentiel explicatif des déterminants liés à l'environnement bâti, dont les résultats sont repris dans le tableau ci-dessous.

Tableau 4-21 : Potentiel explicatif des variables de l'environnement bâti. Ewing et Cervero (2010 : 10). Traduit par auteur.

Registre	Variable	Nbr d'études	P-R des DPV*
Densité	Densité de population	9	-0.04
	Densité d'emploi	6	0.00
Diversité	Mixité fonctionnelle (entropie)	10	-0.09
	Emploi-habitation balance	4	-0.02
Design	Densité d'intersection	6	-0.12
	% d'intersection de 4 voies	3	-0.12
Distance de destination	Accessibilité à l'emploi par voiture	5	-0.20
	Accessibilité à l'emploi par TC	3	-0.05
	Distance au centre-ville	3	-0.22
Distance au TC	Distance au TC le plus proche	6	-0.025

* P-R des DPV: potentiel de réduction distances parcourues en voiture.

Il en ressort de cette méta-analyse que les déterminants les plus importants de l'environnement bâti sont : la mixité fonctionnelle (-9%), les éléments du design (-12%), l'accessibilité à l'emploi par voiture (-20%) et enfin la distance au centre (-22%).

Pour apprécier l'impact des différents déterminants revus dans le présent état de l'art, nous avons retenu pour chaque déterminant la valeur maximale de son potentiel explicatif présenté par les valeurs du coefficient Beta standardisé. Ce coefficient explique la variation des distances parcourues en voiture par écart type de déterminant considéré. Les résultats sont présentés dans les deux graphes en barre présentés ci-dessous et regroupant les déterminants de l'environnement bâti et les caractéristiques socio-économiques des ménages. Ces valeurs ne sont considérées qu'à titre indicatif pour estimer, par comparaison, l'importance de chaque déterminant. De prime à bord, il en ressort que certains déterminants ont un impact variable selon les études : parfois l'estimation est négative et parfois positive avec les distances parcourues en voiture. Selon le registre des données socio-économiques, il nous paraît clair que le coût d'achat de la voiture est plus important que le prix du carburant. Aussi, la taille des ménages et le nombre d'enfants par ménage semblent avoir un effet contrasté. Ceci peut être expliqué par la scolarisation des enfants et l'occupation des ménages ainsi que la proximité des établissements scolaires. La possession d'une voiture explique, dans notre état

de l'art, au maximum 22.4% les distances parcourues en voiture. Alors que le nombre de voitures par ménage explique jusqu'à 38.7% les DPV.

Les déterminants de l'environnement bâti modérant le plus les DPV sont la distance au travail dépassant les 10 km (-42.1%), la densité de population (-33%), la densité de services dans la zone de travail (-34.5%), la mixité fonctionnelle (-17.3%). Et parmi les déterminant incitant le recours à la voiture pour les déplacements, on trouve la densité des routes comme proxy d'accessibilité par voiture (41.5%), et la distance des destinations hors emploi (47.63%). Selon les maximas des effets, la densité des intersections peut avoir un impact plutôt incitatif que démotivant (14% et -7%).

Pour répondre au questionnaire portant sur lequel des deux registres a le plus d'impact sur la mobilité, les études portant sur un seul registre risquent d'omettre les effets d'interaction entre les deux registres, environnement bâti et socio-économique. Ackera et al (2010) ont trouvé que toutes les variables de l'environnement bâti considérées isolément ne sont pas statistiquement significatives, à l'exception de la densité (-0.173). Mais le fait d'introduire au premier modèle les variables socio-économiques, les variables non significatives de l'environnement bâti dans le premier modèle deviennent significatives dans le second. Ce résultat met en exergue l'importance des interactions entre les variables socio-économiques et celles de l'environnement bâti. En considérant les déterminants socio-économiques et de l'environnement bâti, le potentiel explicatif des modèles développés varie sensiblement de 11.5% et 12.4% en Chine et Pays Bas respectivement (Feng et al : 2013), de 20.1% (Ackera et al : 2010) et 45.7% (Marique : 2013) en Belgique à près 56.48% à Massachusetts (Calabrese et al : 2012). L'importance d'un registre par rapport à un autre est aussi contrasté. Stead (2001, rapporté par Banister : 2007) explique que dans le Royaume Uni, les variables socio-économiques sont les plus importantes en expliquant de 23 à 55% de trajets, alors que l'environnement bâti explique 27 % des trajets. Dans une autre étude, Ewing and Cervero (2002) aux Etats-Unis, ont trouvé que l'environnement bâti est plus signifiant que les déterminants socio-économiques dans l'explication de la distance des trajets et moins signifiant pour expliquer les fréquences des trajets et le choix modal.

Dans le présent état de l'art nous avons donc identifié le potentiel modérateur des déterminants selon le registre de l'environnement bâti, et les données socio-économiques des ménages. Il en ressort que les estimations de l'impact des différents déterminants varie d'une étude à une autre et les explications sont parfois absentes dans les études publiées et si elles existent.

Dans la synthèse du chapitre, nous mettrons en exergue les méthodes d'analyse de sensibilité selon leurs avantages et inconvénients. Nous présenterons également notre positionnement et choix méthodologique.

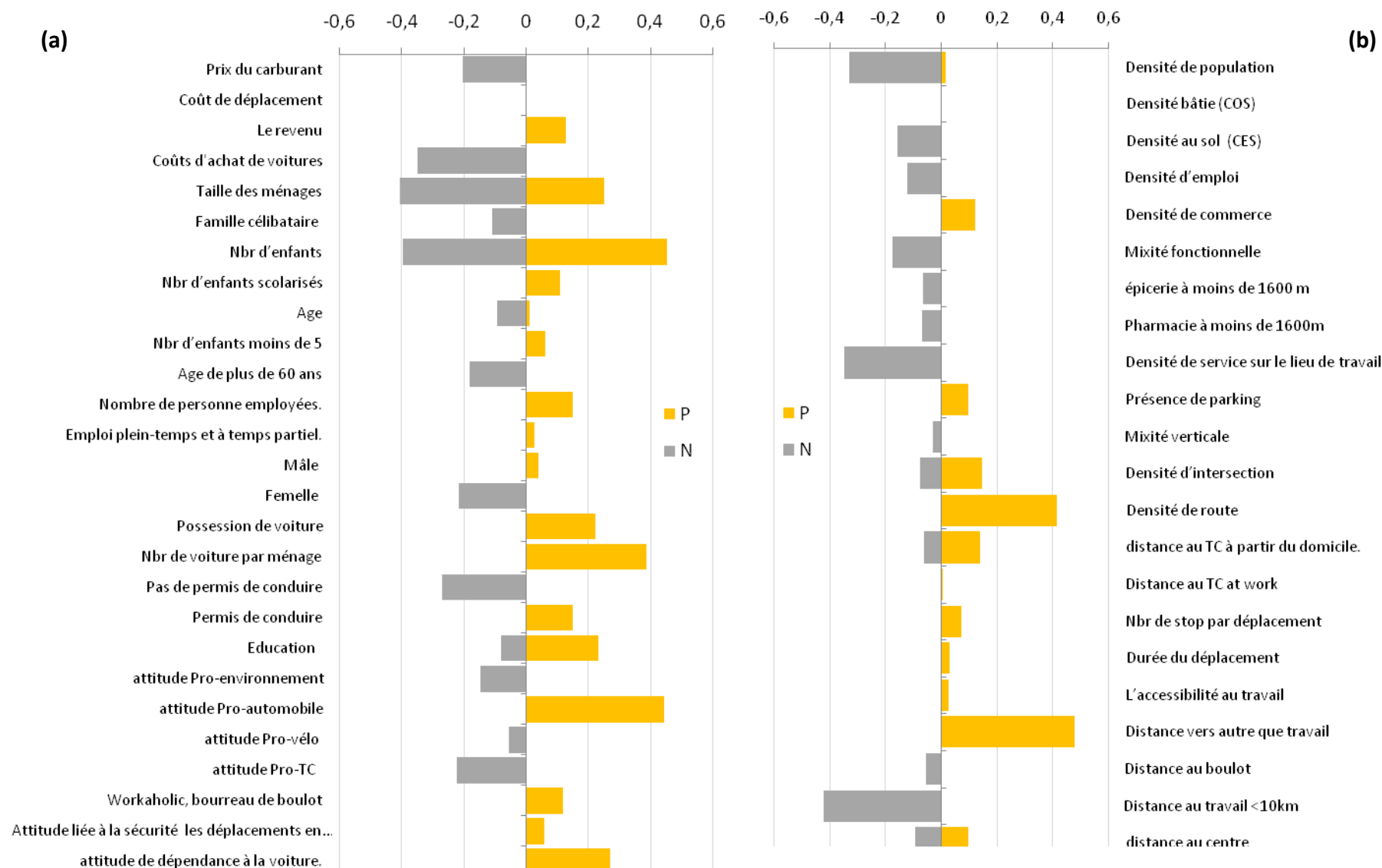


Fig 4- 10: Valeurs maximales de l'impact des déterminants lié à : (a) caractéristiques socio-économiques des ménages, (b) à l'environnement. P-positif, N-négatif. Source : S.Boukarta

SYNTHESE DE L'ETAT DE L'ART ET POSITIONNEMENT METHODOLOGIQUE

L'état de l'art développé dans les chapitres 3 et 4 nous a permis d'identifier 77 déterminants potentiels pouvant expliquer la consommation d'énergie dans les bâtiments à vocation résidentielle et 67 autres indicateurs pour la mobilité. Dans cette synthèse, nous examinerons la première sélection des indicateurs par adaptation sous le filtre du contexte et selon les critères des indicateurs SMART⁵⁸. L'adaptation par rapport au contexte est liée au climat, à la collecte, à la disponibilité des données. Alors que l'adaptation aux critères des indicateurs SMART doit se faire selon les critères de pertinence présentés dans le tableau ci-dessous. Un indicateur doit être spécifique ou significatif, mesurable, adapté à l'action, réaliste et enfin lié au temps. Nous avons identifié à travers l'état de l'art des différences dans les mesures des indicateurs. Par exemple, dans certaines études, l'âge est parfois introduit comme une variable continue et parfois comme une variable catégorielle pour permettre d'isoler l'effet d'une catégorie d'âge sur la consommation d'énergie. C'est pourquoi dans la sélection des indicateurs nous ajouterons la nature de l'indicateur dans notre grille d'adaptation au contexte local.

Tableau 4-22 : Critères des indicateurs SMART. Source : adapté d'Ostermeier et al (2015).

CRITERE SMART	EXPLICATION
Spécifique	L'indicateur doit permettre une interprétation claire et sans ambiguïté et refléter fidèlement la cible afin que les changements qu'il mesure expriment véritablement l'amélioration visée.
Mesurables	L'indicateur doit être (facilement) mesurable et produire des données fiables (c'est-à-dire reproductibles).
Adaptés à l'action	Les informations fournies par l'indicateur doivent présenter une utilité réelle pour ceux qui prennent les décisions.
Réalistes	Le degré d'amélioration visé par l'indicateur doit être réaliste.
Situés dans le temps	L'indicateur doit fixer une échéance ou un calendrier précis pour la réalisation escomptée.

Par ailleurs, à travers l'état de l'art nous avons identifié le modèle général des paramètres (voir figure ci-dessous) impactant le besoin en énergie pour la mobilité et pour le bâtiment. Selon le modèle identifié, le besoin en énergie de l'occupant(s) est défini par les caractéristiques socio-économiques et l'environnement bâti.

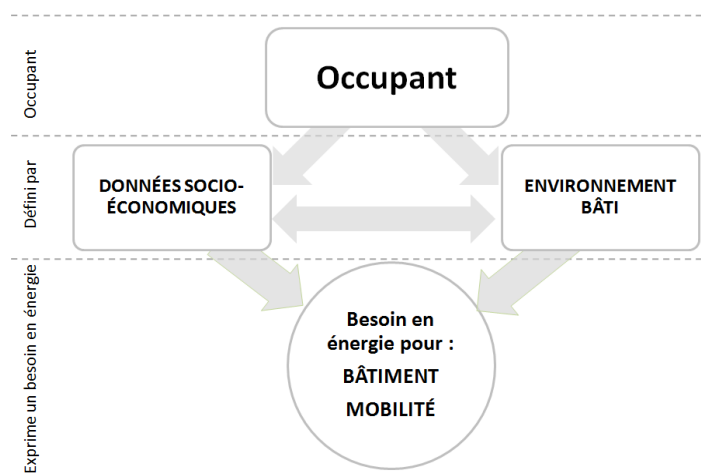


Fig 4- 11 : Modèle général des catégories des paramètres obtenu de l'état de l'art. Source : S. Boukarta

⁵⁸ Acronyme de "Specific, Measurable, Achievable, Relevant and Time-bound" (Ostermeier et al: 2015).

Pour adapter le modèle général, nous avons dressé dans le tableau ci-dessous les indicateurs identifiés dans l'état de l'art en vérifiant si : (a) leur adaptation est possible ou pas au contexte (mode de vie) et à la zone climatique ; (b) ils répondent aux conditions des critères SMART ; (c) et si l'indicateur est utilisé comme variable directe ou proxy, reflétant l'impact d'un indicateur donné ; (d) et enfin si l'indicateurs explique en même temps la consommation d'énergie due à la mobilité et aux bâtiments. Enfin, le modèle issu de cette adaptation sera présenté en fin de la présente synthèse.

Tableau 4-23 : Adaptation des indicateurs selon le filtre du contexte et l'exigence des indicateurs smart. Source : S.Boukarta

		indicateurs						Indicateur smart					Nature		Portée			Retenu
			Socio-éco	Enviro-bâti	Effet direct	Proxy	Contexte	Spécifique	Mesurable	A-Action	Realiste	lié au temps	Continue	Catégorielle	Mobilité	Bâtiment	Bat-Mob	
Bâtiment	Macro	Prix de l'énergie	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X					
		Revenu	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X			X	X
		Variations météorologiques		X	X		X	X	X	X	X	X	X	X		X		X
		Taille des villes		X		X		X	X	X	X	X	X		X			X
		Type d'habitation		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X		X		X
	Forme	Volume passif		X		X	X	X	X	X	X	X	X			X		X
		Nombre de niveaux		X		X	X	X	X	X	X	X	X			X		X
		Véranda		X		X		X	X	X	X	X		X		X		
		Compacité		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X		X		X
		Hauteur sous plafond		X		X		X		X	X	X	X			X		
		Surface de logement		X	X		X	X	X	X	X	X	X			X		X
	Enveloppe	Nombre de chambres		X		X	X	X	X	X	X	X	X			X		X
		Age de logt		X		X	X	X	X	X	X	X	X			X		X
		Type de vitrage		X		X	X	X	X	X	X	X		X		X		X
		Isolation des murs		X	X			X		X	X	X	X			X		
	Occupation de l'habitation	Isolation du toit		X	X			X		X	X	X	X			X		
		Taille des ménages	X			X	X	X	X	X	X	X	X					X
		TOP	X			X	X	X	X	X	X	X	X			X		X
		Temps passé à l'ext	X			X	X	X		X	X	X	X			X		
		Présence dans les chambres	X			X	X	X		X	X	X	X			X		
		Occupation (tmps passé à l'int.)	X			X	X	X		X	X	X	X			X		
	Statut de l'occupant	Statut de l'occupation	X			X	X	X	X	X	X	X		X		X		X
		Locataire	X			X	X	X	X	X	X	X		X		X		X
		Propriétaire	X			X	X	X	X	X	X	X		X		X		X
	Appareils ménagers	Titulaire d'hypothèque	X			X		X		X	X	X		X		X		
		Nbr d'A-M	X		X		X	X	X	X	X	X	X			X		X
		Nombre de TVs	X		X		X	X	X	X	X	X	X			X		X
		NBR Pcs	X		X		X	X	X	X	X	X	X			X		X
		Nombre de chauffage-	X		X							X	X			X		
		Climatisation	X		X		X	X	X	X	X	X	X			X		X
		Machine à laver	X		X		X	X	X	X	X	X	X			X		X
		Lave vaisselle	X		X			X	X	X	X	X	X			X		
		Nbr de réfrigérateur	X		X		X	X	X	X	X	X	X			X		X
		Freezer	X		X			X	X	X		X	X			X		
		Chauffe-eau	X		X			X	X	X		X	X			X		
		Séchoir de linge	X		X			X	X	X		X	X			X		
		PV/solarpossessin	X		X			X	X	X		X	X			X		
		Lampe halogène	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X		X		X
		Lamps BC	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X		X		X
		Chargeurs de batterie	X		X			X	X	X		X	X			X		
		Ventilation mécanique	X		X			X						X		X		
	Usage des	Efficacité des appareils	X		X			X	X	X	X	X		X		X		
		Mise en veille des AEM	X		X		X	X	X	X	X	X		X		X		X

Synthèse de l'état de l'art et positionnement méthodologique

	Occupation des membres des ménages	Nombre de personnes à	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Nbr de Retraités	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Emploi plein-temps et à temps	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Genre	Mâle	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Femelle	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Possession des voitures	Sans voiture	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Possession de voiture	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Nbr de voiture par ménage	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Permis de conduire	Pas de permis de conduire	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Permis de conduire	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Nbr de membre ayant P Conduire	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Attitude	Education	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		attitude Pro-environnement	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		attitude Pro-automobile	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		attitude Pro-vélo	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		attitude Pro-TC	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Workaholic, bourreau de boulot	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Attitude liée à la sécurité	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Dépendance à la voiture.	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Après avoir trié les indicateurs selon le contexte et les critères des indicateurs SMART, on est arrivé à identifier les indicateurs potentiels pouvant expliquer la consommation d'énergie due aux bâtiments résidentiels et à la mobilité.

4.4. Indicateurs retenus expliquant la consommation d'énergie dans le bâtiment

4.4.1. Indicateurs macro

Les 5 indicateurs identifiés dans l'état de l'art ont été retenu car répondant à tous les critères arrêtés, sauf pour le prix de l'énergie qui est stable en Algérie et n'a subi de modification qu'à partir de l'année 2017.

Tableau 4-24 : Indicateurs macros retenus pour le contexte de notre étude.

Registre macro	
indicateur	Mode de calcul
Revenu	Variable catégorielle considéré par rapport au SMIC
variations météorologiques	étage climatique
taille des villes	nombre de population par commune
type d'habitation	de l'individuel au collectif

4.4.2. Indicateurs architecturaux liés à la forme et à l'enveloppe

Les indicateurs retenus liés à la forme du bâtiment sont le volume passif, le nombre de niveaux, la compacité, la surface de l'habitation et le nombre de chambres. La hauteur sous-plafond et la présence des vérandas n'ont pas été retenus car identifiés comme sans effet significatif à partir de notre état de l'art.

Tableau 4-25 : Indicateurs retenus liés à la forme.

RegistreForme	
indicateur	Mode de calcul
Volume passif	Volume passif/volume total (%)
Nombre de niveau	Variable catégorielle considéré par rapport au SMIC
Compacité	Volume/surface déperditive
Surface de logement	nombre de population par commune
Nombre de chambre	de l'individuel au collectif

L'enveloppe constitue un élément important dans l'explication de la consommation d'énergie des bâtiments. Nous n'avons retenu dans notre adaptation l'âge du bâtiment et le type de vitrage, considérés comme des indicateurs proxy de la qualité de l'isolation de l'enveloppe (mur et toit). La résistance thermique des matériaux ne sera considérée que pour le calcul des besoins énergétiques des habitations par simulation thermique dynamique.

Tableau 4-26 : Indicateurs retenus liés à l'enveloppe des habitations.

Registre Enveloppe	
indicateur	Mode de calcul
Age de l'habitation	A compter de la date de réalisation
Type de vitrage	Du simple au triple.
Résistance de l'enveloppe	M ² .K/W

4.4.3. Indicateurs liés à l'occupation de l'habitation et statut de l'occupant

Les indicateurs liés à l'occupation des habitations retenus pour notre contexte sont la taille des ménages, ou le taux d'occupation par logement (TOL), le taux d'occupation par pièce (TOP). Les autres indicateurs : temps passé à l'extérieur, présence dans les chambres et temps d'occupation, sont écartés de l'étude car difficile à mesurer.

Tableau 4-27 : Indicateurs retenus liés à l'occupation des habitations.

Registre d'occupation des habitations	
indicateur	Mode de calcul
Taille des ménages (TOL)	Nombre de personnes par ménage
Taux d'occupation par pièce (TOP)	Nombre de personnes par pièce

Les indicateurs identifiés dans l'état de l'art ont tous été retenus, sauf les titulaires d'hypothèque car ils sont considérés comme des locataires.

Tableau 4-28 : Les indicateurs retenus liés à nature d'occupation des habitations.

Registre de la nature d'occupation des habitations	
Indicateur	Mode de calcul
Propriétaire	(Oui, non)
Locataire	(Oui, non)

4.4.4. Indicateurs liés aux appareils ménagers

Les appareils ménagers constituent un des indicateurs important expliquant la consommation d'énergie dans l'espace résidentiel. Comme déjà identifié dans l'état de l'art, il y a plusieurs façon d'introduire la possession des appareils ménagers dans le système des indicateurs, soit par : le taux d'équipement en considérant tous les appareils ménagers en une seule fois. Soit en désagrégeant le taux de possession par type d'appareil. Pour identifier l'importance des appareils ménagers, nous avons préféré introduire le taux de possession des appareils ménagers comme indicateurs global, puis chaque type d'appareil est considéré comme indicateur afin d'identifier son importance. Dans l'état de l'art, nous avons identifié 14 appareils ménagers mais nous avons écarté 7 de notre étude, car rarement présent dans les ménages algériens et particulièrement les ménages *Djelfaoui*.

Tableau 4-29 : Appareils ménagers retenus de l'état de l'art.

Registred propriété des appareils ménagers	
Indicateur	Mode de calcul
Taux d'équipement	Pourcentage (nombre effectif d'appareil/nombre total)
Nombre de TV	Nombre
Nombre d'ordinateurs	Nombre
Machine à laver	Possession (Oui, Non)
Réfrigérateur	Possession (Oui, Non)
Climatiseur	Nombre

4.4.5. Indicateurs liés à la densité urbaine

La densité de population et la densité bâtie exprimée en COS et CES⁵⁹ sont des indicateurs potentiels pouvant expliquer la consommation d'énergie dans le résidentiel.

Tableau 4-30 : Densités retenues dans l'analyse.

Registred de la densité	
Indicateur	Mode de calcul
Densité de population	Hab/km ²
Densité bâtie (COS)	Σ surface bâtie (m ²) / surface du terrain (m ²)
Densité bâtie (CES)	Surface occupé au sol (m ²) / surface du terrain

4.5. Indicateurs retenus expliquant la consommation de l'énergie par la mobilité

4.5.1. Indicateurs retenus liés au registre de la diversité

La diversité peut être interprétée à travers la mixité fonctionnelle comme un indicateur composite, tout comme chaque fonction peut être interprétée à travers la distance la séparant de l'espace résidentiel. Nous avons retenu les deux interprétations car considérer seulement l'indicateur composite peut omettre des effets qui peuvent mieux expliquer les déplacements des ménages. Certaines fonctions ne figurant pas dans l'état de l'art seront aussi considérées, car présentes dans le contexte de notre aire d'étude (voir la section, déroulement de l'enquête, chapitre 6).

Tableau 4-31 : indicateurs retenus interprétant la diversité

Registred de la diversité	
Indicateur	Mode de calcul
Mixité fonctionnelle	Pourcentage
Différentes fonctions	Distances (mètres)
Parking	Distances (mètres)

4.5.2. Indicateurs retenus liés au registre de la distance au transport en commun

Les trois indicateurs identifiés dans l'état de l'art sont retenus pour notre cas d'étude.

Tableau 4-32 : Indicateurs retenus interprétant la distance au TC.

Registred de la distance aux TC	
Indicateur	Mode de calcul
Distance au TC de chez-soi domicile.	Distances (mètres)
Distance au TC au travail	Distances (mètres)
Nbr de stop par déplacement	/

⁵⁹ Coefficient d'occupation du sol, et le coefficient d'emprise au sol.

4.5.3. Indicateurs liés au registre de la distance de la destination

Nous n'avons retenu que 5 indicateurs pouvant expliquer les distances parcourues et les parts modales des différents moyens de transport. Les autres indicateurs, tels que la vitesse des bus, sont difficilement mesurables.

Tableau 4-33 : Indicateurs retenus interprétant la distance de la destination.

Registredela distance de la destination	
Indicateur	Mode de calcul
Durée du déplacement	Durée (heure)
Accessibilité au travail	La présence des parking/Arrêt de bus
Distance vers autre que travail	Distances (mètres)
Distance au travail	Distances (mètres)
Distance au Centre	Distances (mètres)

4.5.4. Indicateurs retenus liés au coût du déplacement et la possession de voitures

Pour le coût du déplacement, nous n'avons considéré que le prix du carburant. Cet indicateur ne pouvant être utilisé directement car il est le même sur tout le territoire national, il sera exprimé par un indicateur proxy calculé par le rapport revenu/prix de l'énergie. Cet indicateur permettra d'identifier la quantité de carburant qu'un ménage peut s'offrir.

Tableau 4-34 : Indicateurs retenus liés au registre du coût de déplacement

Registredu coût de déplacement	
Indicateur	Mode de calcul
Prix du carburant	Revenu/prix du carburant

Les trois indicateurs identifiés dans l'état de l'art ont été retenu pour notre étude, à savoir, la possession des voitures et leurs nombre par ménage.

Tableau 4-35 : Nombre des voitures

Registredepropriété des voitures	
Indicateur	Mode de calcul
Possession de voiture	(Oui, non)
Nbr de voiture par ménage	Nombre

4.5.5. Indicateurs retenus liés au registre du design

Tous les indicateurs identifiés dans l'état de l'art sont retenus pour notre étude.

Tableau 4-36 : Indicateurs retenus liés au registre du design

Registredesign	
Indicateur	Mode de calcul
Nombre cyclomatique	$u = L - N + 1$
Indice α	$\alpha = u / u_{\max} = L - N + 1 / 2N - 5$
Indice de connectivité β	$\beta = L / N$
Indice γ	$\gamma = L / 3(N - 2)$
Densité d'intersection	$\theta = L / S$, et $\Psi = N / S$ ou S =surface du réseau.

4.5.6. Indicateurs influant le volume de mobilité et la consommation d'énergie des bâtiments

Les indicateurs ayant un impact sur la consommation d'énergie due au bâtiment et à la mobilité sont les caractéristiques socio-économiques des ménages, la densité de population et le prix de l'énergie. Les indicateurs socio-économiques retenus pour notre contexte sont la taille des ménages, l'âge du ménage, le genre et l'occupation des membres des ménages et le niveau d'instruction. L'âge des membres des ménages est introduit comme l'âge du responsable du ménage, l'âge moyen du ménage et parfois comme catégorie d'âge pour apprécier les corrélations potentielles entre la consommation d'énergie et les catégories d'âge.

Tableau 4-37 : Indicateurs influant le volume de mobilité et la consommation d'énergie des bâtiments

Registre lié à la consommation d'énergie et des bâtiments.	
Indicateur	Mode de calcul
Densité	Hab/ha et coefficient d'emprise au sol
Taille des ménages	/
Prix de l'énergie	Revenu/prix de l'énergie
Revenu	/
Occupation des membres des ménages	Fonction publique/libérale
Age	Age du responsable, âge moyen du ménage, catégorie d'âge.
Genre	Masculin, féminin
Niveau d'instruction	Primaire à universitaire

4.6. Synthèse des indicateurs retenus et construction de la méthode d'analyse de sensibilité

4.6.1. Tableau de bord des indicateurs retenus pour le cas d'étude de Djelfa

Les indicateurs retenus pour l'étude sont présentés dans les trois tableaux ci-dessous expliquant le besoin en énergie dû au bâtiment, à la mobilité, et le besoin commun respectivement.

Tableau 4-38 : Indicateurs potentiels pouvant expliquer la consommation d'énergie due aux bâtiments.

Besoin en énergie	Registre	Indicateur
Bâtiment	B. 1 Macro	B.1.1 Prix de l'énergie
		B.1.1 taille des villes
		B.1.2 variations météorologiques
	B. 2 Forme	B.2.1 Volume passif
		B.2.2 Nombre de niveau
		B.2.3 Compacité
		B.2.4 Surface de logement
		B.2.5 Nombre de chambre
	B. 3 Enveloppe	B.3.1 Age de l'habitation
		B.3.2 Type de vitrage
		B.3.3 Résistance thermique de l'enveloppe
	B. 4 Taux d'occupation	B.4.1 Taille des ménages
		B.4.2 le taux d'occupation par pièce (TOP)
	B. 5 Statut d'occupation	B.5.1 Propriétaire, Locataire
	B. 6 Possession des appareils ménagers	B.6.1 Taux d'équipement
		B.6.2 Nombre de TV
		B.6.3 Nombre d'ordinateurs
		B.6.4 Machine à laver
		B.6.5 Réfrigérateur
		B.6.6 Lampe halogène

	B.6.7 Lampe Basse consommation
B. 7 Usage des appareils ménagers	B.7.1 Efficacité des appareils électroménagers
	B.7.2 Mise en veille des AEM
	B.7.3 Usage de TV
	B.7.4 Usage des PCs
	B.7.5 Usage du chauffage
	B.7.6 Usage de climatiseur
B. 8 Type d'habitation	B.8.1 Individuel, collectif.
B. 9 Densité	B.9.1 Densité de population
	B.9.2 Densité bâtie (COS)
	B.9.3 Densité bâtie (CES)

Tableau 4-39 : Indicateurs potentiels pouvant expliquer la consommation d'énergie due à la mobilité.

Besoin en énergie	Registre	Indicateur
Mobilité	M.1 Diversité	M.1.1 Mixité fonctionnelle
		M.1.2 Les différentes fonctions
		M.1.3 Parking
	M.2 Distance au TC	M.2.1 Distance au TC de chez-soi domicile.
		M.2.2 Distance au TC au travail
		M.2.3 Nbr de stop par déplacement
	M.3 Distance de la destination	M.3.1 Durée du déplacement
		M.3.2 L'accessibilité au travail
		M.3.3 Distance vers autre que travail
		M.3.4 Distance au travail
		M.3.5 Distance au Centre
	M.4 Coût du déplacement	M.4.1 Revenu/prix du carburant
	M.5 Design	M.5.1 Le nombre cyclomatique
		M.5.2 L'indice α
		M.5.3 Indice de connectivité β
		M.5.4 L'indice γ
		M.5.5 Densité d'intersection
	M.6 Propriété des voitures	M.6.1 Possession de voiture
		M.7.2 Nbr de voiture par ménage

Tableau 4-40 : Indicateurs potentiels pouvant expliquer la consommation d'énergie due aux bâtiments et à la mobilité.

Besoin en énergie	Registre	Indicateur
Habitation & mobilité	B.M.1 Densité	B.M.1.1 Densité de population
		B.M.2.1 Taille des ménages
	B.M.2 Socio-économique	B.M.2.2 Prix de l'énergie
		B.M.2.3 Revenu
		B.M.2.4 Occupation des membres des ménages
		B.M.2.5 Age
		B.M.2.6 Le genre
		B.M..2.7 Niveau d'instruction

La deuxième adaptation des indicateurs jusque-là arrêtés, passe nécessairement par une analyse de sensibilité, à travers laquelle la signification et l'importance des indicateurs trouveront sens.

4.6.2. Construction de la méthode d'analyse de sensibilité

L'objectif des méthodes de sensibilité est d'identifier l'impact d'un nombre défini de variables introduites dans le modèle étudié. Elle nous permet alors d'estimer le comportement du phénomène donné, en l'occurrence le potentiel de maîtrise de l'énergie, sous la variation des variables introduites dans le modèle. Pour établir notre méthode d'analyse de sensibilité nous avons revu un

panel de méthodes en les ventilant avec les paramètres suivants : flexibilité du modèle en termes de nombres de variables introduites, robustesse des résultats et portée (confirmation, exploratoire), pour qu'enfin nous puissions présenter notre approche.

a. Approche monovariante

Elle constitue l'approche la plus simple de toutes les analyses de sensibilité. Elle repose sur le principe simple consistant à faire varier un paramètre tout en fixant les autres paramètres. La variation des résultats est identifiée sous l'optique de la seule variable étudiée. L'inconvénient principal de cette approche est la non-prise en considération des interactions entre les variables et son éloignement de la réalité car, dans tout système, les variables expliquent la variation du phénomène étudié et entretiennent en même temps des interrelations. Cette approche a plutôt une portée d'exploration, et la confirmation des résultats de la variation doit passer par le niveau d'études des interactions entre les paramètres du modèle.

b. Approches d'analyse multivariée

Contrairement à la méthode monovariante, ces méthodes permettent d'estimer la sensibilité des variables d'entrée tout en considérant les interactions entre les variables composant le système étudié.

Parmi ces méthodes multivariées, on peut citer :

- **Plans d'expériences**

Cette approche constitue une avancée intéressante permettant d'analyser les interrelations entre les variables du système tout en réduisant le nombre d'essais. Contrairement aux méthodes monovariantes, l'approche par plan d'expérience procède par variation simultanée des variables introduites dans le modèle analysé. Cette approche permet de déceler les interrelations entre les variables et de gagner en précision (Bouyer : 2009). La limite principale de cette méthode réside dans le fait que les paramètres d'entrée ne peuvent être traités que sur un maximum de trois niveaux.

- **Méthodes statistiques**

Ces méthodes ont l'avantage d'étudier les relations mutuelles entre variables et identifier entre autre l'impact des paramètres à étudier dans des intervalles de confiance assez élevés, 90, 95 et 99%. Aussi, le nombre de paramètres introduits ne constitue point une contrainte. Parmi les méthodes statistiques, nous citerons les modélisations par régression linéaire, logistique binaire et multinomiale, l'analyse en composante principale et enfin les modélisations par équation structurelle.

- **Modélisation par régression linéaire**

Cette approche est la plus utilisée par la communauté scientifique. Elle permet d'estimer la variance du phénomène étudié (consommation d'énergie) par la conjonction d'un ensemble de variables explicatives. La formule décrivant l'analyse est la suivante (Alavifar et al : 2012) :

$$E = C + \beta_1.X_1 + \beta_2.X_2 + \dots + \beta_i.X_i \quad (1)$$

Avec C : constance, β : des coefficients de régression à déterminer; et X : les variables explicatives du modèle.

La validation de ce type de modèle passe par trois étapes: (i) la première étape consiste à tester la distribution normale des variables à travers le test d'assymétrie (*Skewness*) qui doit avoir des valeurs inférieures à 1. Et le test de Kurtosis exigeant une valeur comprise entre 1 et -1 pour toutes les variables introduites dans le modèle. Si une variable ne répond pas au critère de la distribution normale, elle subira une transformation de type quadratique ou logarithmique afin d'ajuster la déviation observée dans la distribution de la variable (Ghasemi et Zahediasl: 2012, Öztuna et al : 2006) ; (ii) le test de collinéarité : ce test tend à éviter la redondance des effets entre deux variables explicative ou plus, car leur existence dans le modèle crée une inflation et ne permet pas de bien représenter la variance. Le test est observé à travers le VIF (facteur d'inflation de la variance). Le test exige l'absence de toute variable ayant un VIF supérieur ou égal à 10 (De Bourmont: 2012); (iii) le test de normalité est enfin aussi appliqué aux résidu standardisé.

Une fois le modèle établi validé, la première lecture à faire se rapporte au seuil de confiance qui est généralement donné à 95%, exprimé par la valeur de *Pvalue* et dont la valeur ne doit pas dépasser 0.05 pour que le modèle soit significatif. La qualité du modèle se fait sur la base du coefficient de détermination R^2 qui exprime la variance expliquée par le modèle. Et les effets des variables dans le modèle peuvent être lus à travers les valeur de β standardisé dont l'unité est l'écart type ou par lecture de la valeur de *T student* (Bakour: 2016) qui permet de lire l'importance des variables. Une valeur élevée de *T* est interprétée par un impact élevé dans l'explication de la variance du phénomène étudié.

La modélisation par régression linéaire a comme principale limitation de ne donner que les effets directs. Ceci dit, une variable n'ayant pas un effet significatif dans une analyse de régression linéaire peut avoir un effet indirect médié par d'autres variables ayant un effet direct significatif.

- **Analyse en composante principale**

Souvent en expérimentation, nous ne connaissons pas la logique de corrélation entre les variables que nous étudions. L'analyse en composante principale (ACP) donne la possibilité de réduire la dimension d'un grand ensemble de données et permet de révéler les corrélations potentielles et d'extraire les variations les plus significatives entre les variables (Owen: 2014). L'ACP procède en transformant l'ensemble de données initiales en une base significative, de telle manière que les données transformées conservent la plupart des variations présentées dans les données originales (Idem: 2014). L'ACP est une sorte d'algorithmes biométrique, ce qui signifie qu'elle (L'ACP) se base sur la reconnaissance des formes des données transformées et projetées dans l'espace. Si la distance entre les variables est suffisamment petite, la corrélation pourrait alors être identifiée (Karamizadeh: 2013). La distance entre les variables projetées dans l'espace révèle la formation possible de cluster ou profil. Cette approche est intéressante parce qu'elle est capable de lire les interrelations entre variables, cependant, sa portée reste exploratoire.

- **Modélisation par équation structurelle**

Selon les chercheurs, la modélisation par équations structurelles (MES) est une technique statistique utilisée pour identifier et confirmer la combinaison potentielle entre les variables pour expliquer le phénomène observé. La MES utilise l'approche graphique des trajectoires pour représenter un ensemble d'hypothèses, de cadres conceptuels, théoriques ou intuitifs qui pourraient expliquer la relation des facteurs du phénomène observé. Ceci dit, les analyses par MES ont une portée intéressante d'exploration et de confirmation. La MES se base sur des techniques d'analyse de

covariance et de régression. Une MES est composée de trois types de variables : les variables endogènes, celles qui ont un effet direct (X3 dans le schéma ci-dessous) et des variables exogènes, celles qui ont un effet indirect à travers les variables endogènes (X1 et X2) et enfin les variables latentes (non mesurées), représentent les causes sous-jacentes de plusieurs comportements observés (U1 et U2) (Kenny : 2011).

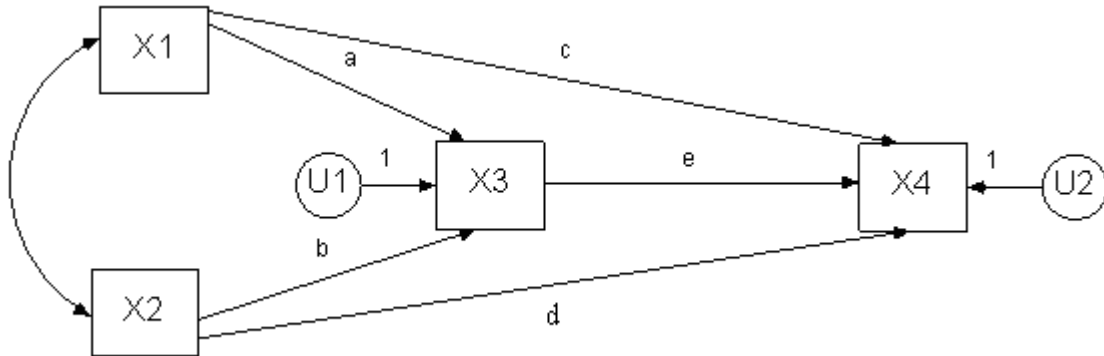


Fig 4- 12 : Exemple de variable endogène, exogène et latente, d'effet direct et indirect. Source : (Kenny : 2011)

Le modèle découlant de cette formulation prend la forme suivante :

$$X_3 = aX_1 + bX_2 + U_1 \quad (2)$$

$$X_4 = cX_1 + dX_2 + eX_3 + U_2 \quad (3)$$

Avec a, b, coefficient de régression, et U1 et U2 sont les valeurs des variables latentes.

Pour valider une MES, un ensemble d'exigences doit être satisfait: (i) La racine de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) doit être inférieure à 0,06 à 0,08 (Schreiber et al: 2006, Hooper et al: 2008) , (ii) l'indice d'ajustement normal (NFI) doit être supérieur à 0,95 (Hu et Bentler: 1999) et (iii) l'indice d'ajustement comparatif (CFI) doit être proche ou supérieur à 0,95 (Schreiber et al: 2006, Lacobucci: 2010) ou supérieur à 0,80 (Hooper et al: 2008). Une fois que le modèle correspond aux indices d'ajustement, le modèle est considéré comme robuste et nous pouvons estimer l'effet total, direct et indirect de chaque variable explicative.

Il existe d'autres analyses de sensibilité tel que l'arbre de décision (Yu et al : 2010) qui peut être utile pour aider les concepteurs à identifier le besoin énergétique en suivant les caractéristiques de leurs projets dans l'arbre de décision. Cette méthode ne présente pas un intérêt pour nous, car elle ne nous permet pas d'identifier les effets directs et indirects des variables explicatives.

In fine et après avoir dressé les méthodes d'analyse de sensibilité, notre choix s'est porté sur les corrélations bivariées et l'analyse en composante principale comme diagnostic des corrélations potentielles entre variables. Cette première étape est conduite sous SPSS 21. Puis dans la seconde étape et sous Amos 17.0, la modélisation par équation structurelle sera appliquée afin de déterminer les effets directs et indirects des variables explicatives et comprendre les interrelations potentielles entre variables dans le modèle (Voir schéma ci-dessous).

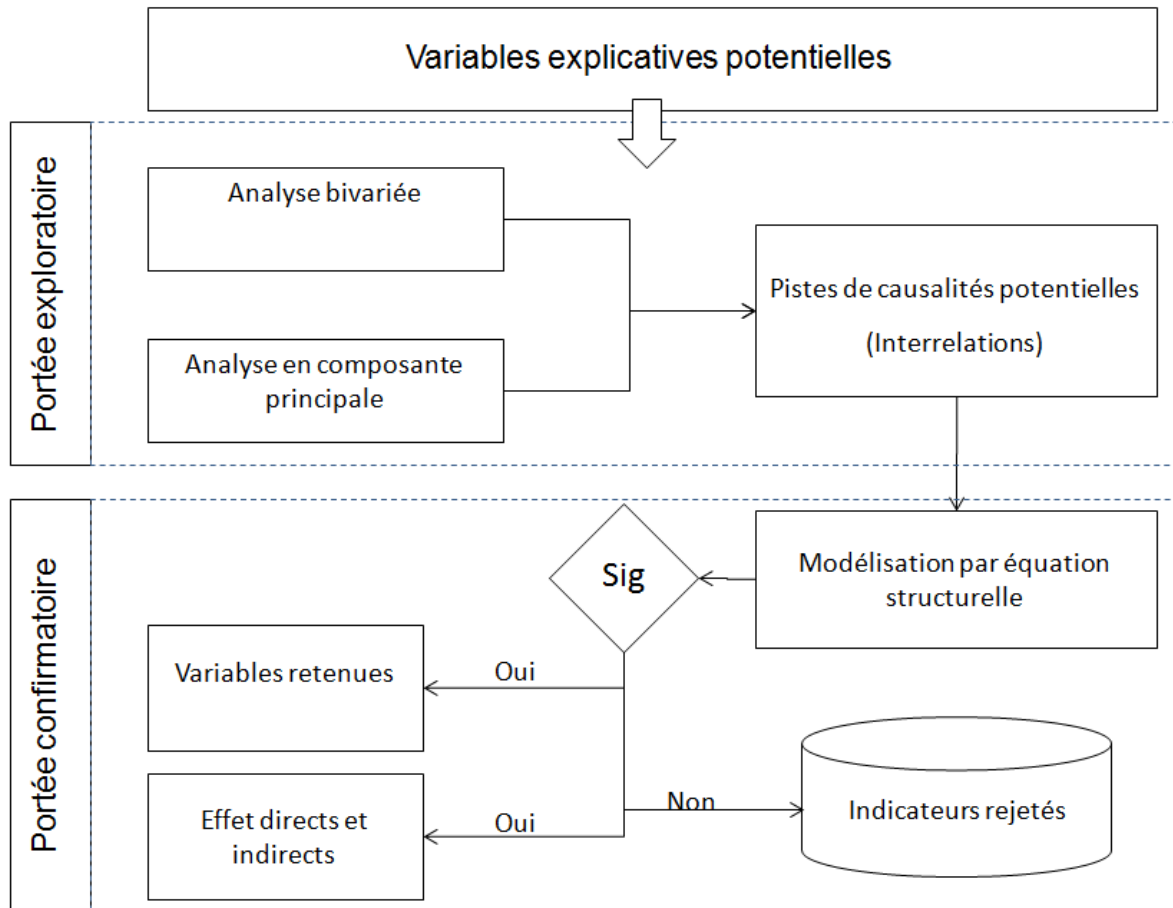


Fig 4- 13 : Analyses de sensibilité adoptées dans la recherche Source : S.Boukarta

Dans la présente synthèse, nous avons passé en revue la littérature scientifique portant sur la consommation de l'énergie induite par l'habitat et par la mobilité. Nous avons pu obtenir une batterie de variables explicatives ce qui nous permet de concevoir notre modèle avec plus de détail. Nous avons constaté que le nombre des variables identifiées dans l'état de l'art est important ainsi que certaines variables sont inappropriée à notre aire d'étude. Nous avons ensuite procéder à une adaptation des variables explicatives au contexte de notre aire d'étude. Enfin, dans la troisième partie nous identifierons les déterminants de la forme urbaine générant un potentiel de maîtrise de l'énergie.

Conclusion de la Deuxième Partie

Dans la deuxième partie de la thèse, nous avons dressé un état de l'art voué à la caractérisation énergétique de l'espace résidentiel et de la mobilité. La grille de lecture de littérature scientifique portant sur l'espace résidentiel est composée de quatre registres impactant potentiellement la demande énergétique des ménages et qui sont : le registre des données socio-économique des ménages, le registre de l'environnement bâti, la possession et l'usage des appareils ménagers. Et la grille de lecture portant sur la mobilité est à son tour composé de deux grand registres : les données socio-économiques de l'occupant et l'environnement bâti. Ensuite, dans le présent état de l'art, 77 indicateurs ont été identifiés pour le volet « bâtiment » et 67 pour le volet « mobilité ». Chaque indicateur est ensuite discuté en termes d'impact sur la demande énergétique (positif, négatif, insignifiant et contrasté).

Pour adapter le tableau de bord issu de cet état de l'art, nous avons procédé à une sélection sur la base de pertinence des indicateurs. Pour ce faire, chaque indicateur est ventilé sous la grille du contexte (climatique et social) et selon les critères des indicateurs SMART. Cette étape nous a permis dans un premier temps d'identifier les indicateurs ne supportant pas une transposition au contexte de notre aire d'étude. Et dans un second temps, l'adaptation nous a permis de réduire le nombre d'indicateurs et de les regrouper en trois grand volets : (i) les indicateurs influant le besoin en énergie dans le bâtiment, (ii) les indicateurs influant la demande en énergie due à la mobilité et ; (iii) les indicateurs impactant la demande énergétique due au bâtiment et à la mobilité à la fois.

Le modèle étant adapté selon la pertinence des indicateurs identifiés dans l'état de l'art, il nous sera possible dans la prochaine partie d'identifier, par modélisation et analyses de sensibilité, le comportement et la pertinence des indicateurs et les liens de causalité expliquant la demande énergétique dans les deux grands secteurs de consommation, la mobilité et le bâtiment.

Enfin, le modèle d'analyse qui sera reconduit dans la troisième partie de notre thèse est présenté dans la figure ci-dessous. La pertinence des indicateurs sera explorée à travers un ensemble d'analyse de sensibilité. Nous avons vu à travers l'état de l'art que les méthodes d'analyse de sensibilité prônée par les différentes recherches portent principalement sur les analyse de régression linéaire, logistique, analyse en composante principale et enfin les analyses par équation structurelle (MES).

Nous avons ainsi en main tous les outils méthodologiques nécessaires pour aborder le contexte de notre cas d'analyse expérimentale, celui de la ville de Djelfa en zone semi-aride des Hauts Plateaux en Algérie. Cette étude fait l'objet de la Troisième Partie de notre thèse, dans l'objectif de valider le modèle des déterminants du potentiel de maîtrise de l'énergie dans ce type de milieux urbains.

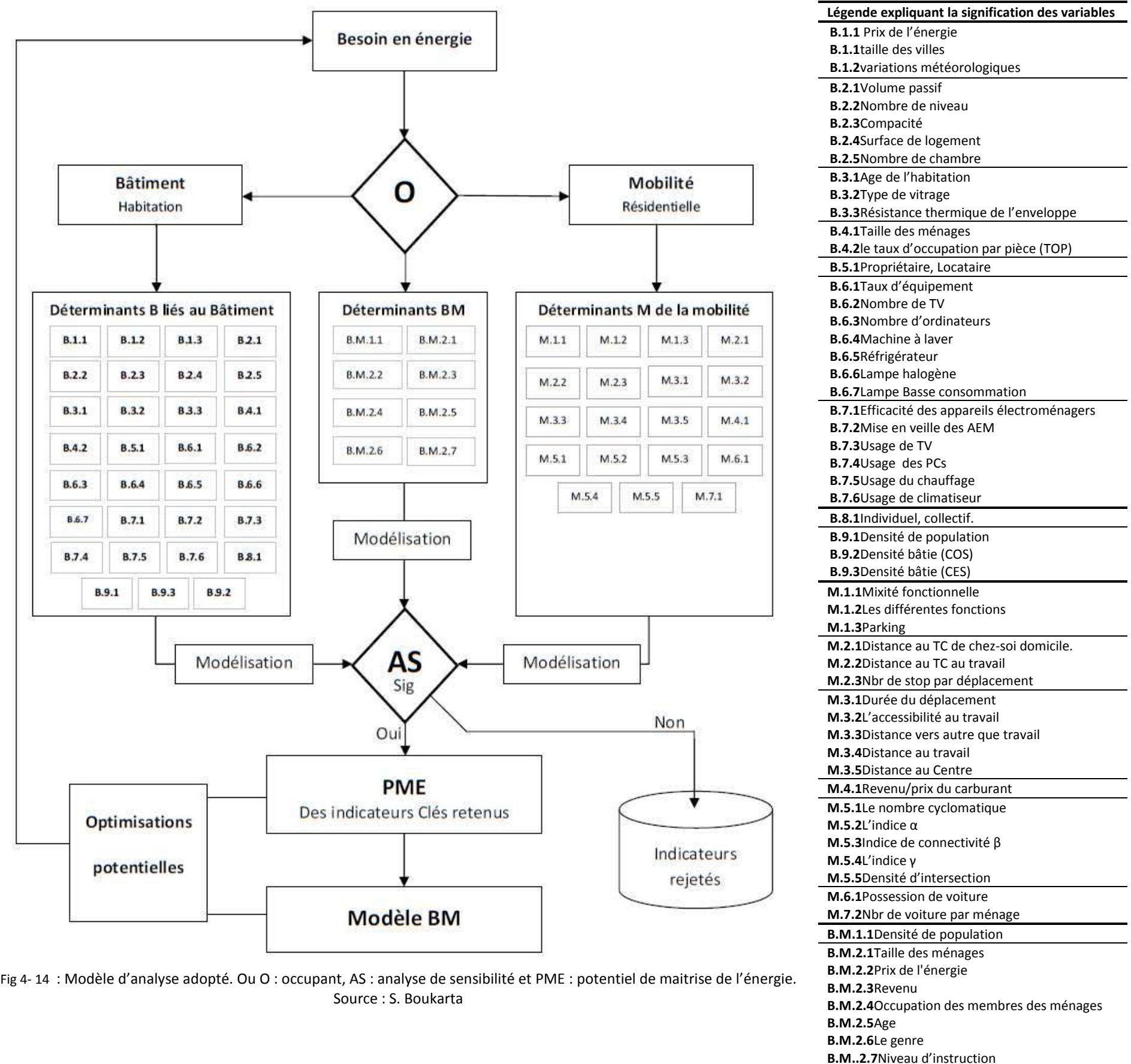


Fig 4- 14 : Modèle d'analyse adopté. Ou O : occupant, AS : analyse de sensibilité et PME : potentiel de maîtrise de l'énergie.
 Source : S. Boukarta

Partie III

Modèle local d'évaluation du potentiel de maîtrise de l'énergie en zone semi-aride

APPLICATION SUR LE CAS DE LA VILLE DE DJELFA

La troisième partie constitue la partie empirique de la thèse, à travers laquelle nous présenterons l'évaluation du potentiel de maîtrise de l'énergie pour le secteur de l'habitat et pour la mobilité résidentielle dans la ville de Djelfa, qui se situe dans la zone semi-aride du pays. Pour ce faire, nous avons pris comme base le modèle développé dans la deuxième partie de la thèse et dont l'application se fait en deux étapes : (i) Une étape exploratoire conduite sous SPSS 21 comprenant les analyses en corrélation bivariées et l'analyse en composante principale ; (ii) Et une deuxième étape à portée confirmatoire conduite sous AMOS 17.0 comprenant les modélisations par équation structurelle. La présente partie présente aussi une comparaison entre l'effet des variables explicatives liés à l'occupant et celles inhérentes à l'environnement bâti. Aussi, et en fin de la présente partie, nous discuterons la possibilité d'introduire les résultats de la présente recherche dans les instruments d'aménagement.

5

CHAPITRE 5

IDENTIFICATION DU POTENTIEL DE MAITRISE DE L'ENERGIE DANS L'ESPACE RESIDENTIEL DE LA VILLE DE DJELFA

La région des Hauts Plateaux en Algérie est un véritable « tête de pont » pour la reconquête d'un territoire désertique. Cette zone constitue près de 9% du territoire national et est située à une altitude moyenne de 800 mètres. Elle s'étale de l'est à l'ouest selon un ruban de près de 1000 km de longueur et de 300 à 350 km de large à l'ouest du pays alors qu'à l'est la largeur ne fait que la moitié de celle l'ouest, soit 150 km (Bachar : 2015). La région de Djelfa, Msila et Laghouat constitue la zone des Hauts Plateaux-centre, considérée comme un potentiel pouvant réorienter et équilibrer la distribution territoriale de la population nationale. Pour renforcer cette idée, le SNAT propose une ville nouvelle à Boughzoul afin de jouer le rôle de pôle d'équilibre entre la partie nord et sud du pays.



Fig 5- 1: Etendue de la région des Hauts Plateaux. Source : Benslimane : 2008

La zone des Hauts Plateaux est caractérisée par un écosystème fragilisée par les conditions climatiques d'un côté et par le phénomène de désertification qui, malgré la présence du barrage

vert, ne cesse de se développer sur des milliers d'hectares annuellement, en avançant vers le nord (Moulai A., Plan Bleu, CIHEAM, 2008). La région est répartie en deux zones, une partie se situant dans la zone aride au sud et une zone climatique semi-aride au nord de la région. Parmi les facteurs accentuant le phénomène de désertification, on trouve la sécheresse due à l'aridité du climat, faible pluviométrie et la couche végétale fragilisée par une concentration des activités pastorales aux abords des villes, afin de profiter des conditions de la vie urbaine, mais provoquant ainsi un surpâturage par endroit (Nedjraoui et Bédrani : 2008). Benslimane (2008) a montré que la zone steppique cours un risque élevé de désertification, **plus de 74% (voir carte ci-dessous) du territoire steppique est concerné par la désertification**. Parmi les solutions face à ce phénomène, l'auteur propose le rétablissement du budget énergétique au sol à travers une végétation massive afin de réduire la température au sol ce qui permettrait à ce dernier de retenir davantage d'eau. La désertification avance avec un rythme accéléré représentant en 2008 une moyenne, spécifie l'auteur, de dégradation des sols de près de 40 000 ha/an, soit plus de 4% par décennie (Benslimane : 2008).

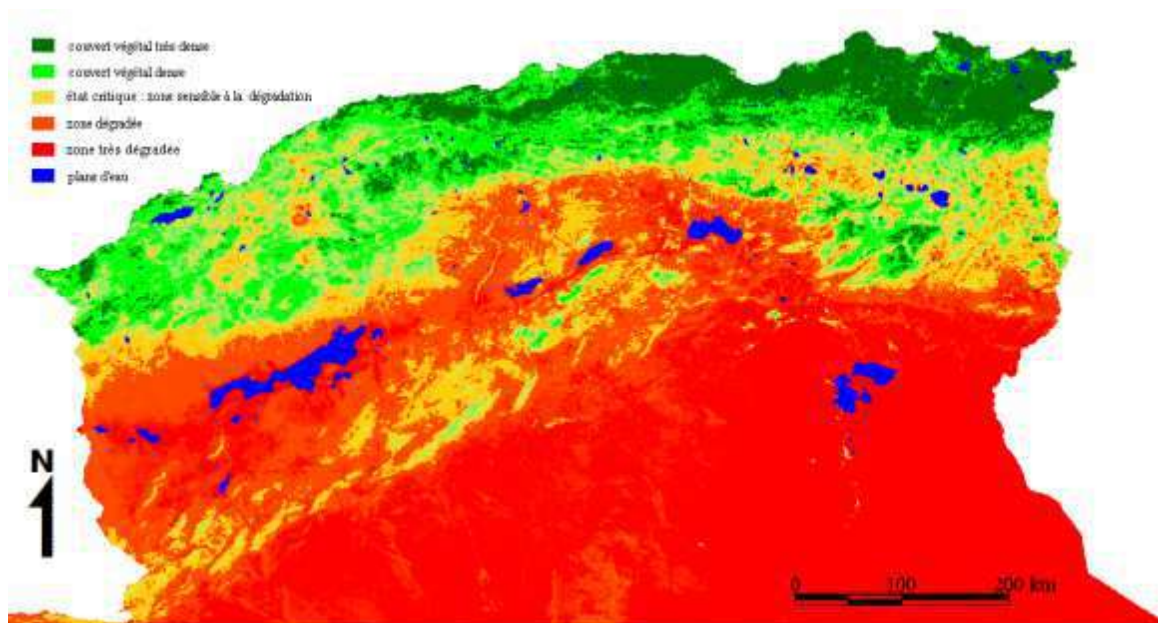


Fig 5- 2 : Carte de sensibilité à la désertification. Source : Benslimane (2008)

C'est cette zone qui est le sujet de notre préoccupation, étant donné que la désertification est aggravée par le réchauffement climatique consécutif à l'augmentation des gaz à effet de serre sous l'effet de la consommation accrue des énergies fossiles. La réduction de la consommation de l'énergie dans les villes qui soutiennent l'armature urbaine des Hauts Plateaux pourrait non seulement contribuer positivement à l'atténuation du phénomène de désertification, mais aussi participer à l'effort national de l'économie d'énergie fossile dont les ressources subissent un tarissement, comme nous l'avons vu en premier chapitre de notre thèse.

Nous allons donc d'abord décrire le contexte de la ville de Djelfa, maillon important de l'armature urbaine des Hauts Plateaux, qui nous intéresse à double titre : en tant qu'un pôle de développement économique, mais aussi en tant que lieu de vie des populations sous un climat hostile.

SECTION 5A.

POTENTILE DE MAITRISE DE L'ENERGIE A L'ECHELLE DE LA COMMUNE DE DJELFA

5.1. Wilaya de Djelfa, origine historique d'une ville-carrefour

La ville de Djelfa, telle qu'elle existe aujourd'hui, est une ville récente, de fondation coloniale.⁶⁰Certaines informations sur son développement historique, spécifie De Villaret (1995), relèvent beaucoup plus de l'épopée que de l'histoire⁶¹ car basées sur des mémoires populaires qui ont tendance à exalter les ancêtres pour stimuler l'imaginaire des enfants. Ce qui est certain en revanche, ce que la région de Djelfa est une région qui a abrité l'homme préhistorique venant de divers horizons. De Villaret évoque la présence de quelques gravures rupestres (une cinquantaine reconnues datant de 7000 à 5000 AC), indiquant la présence de la race blanche des hommes, qui peuvent venir de la Sardaigne comme en témoignent les dolmens et l'écriture libyco-berbère. Ibn Khaldoun corrobore l'idée d'une présence préhistorique et protohistorique aussi, mais il appelle Berbère⁶²toute la population habitant l'ouest de l'Egypte jusqu'à l'Atlantique, et parmi eux, les habitants du Maghreb central qui sont les « Zénètes » (De Villaret : 1995 : 38). D'autres références citées par De Villaret appelant les autochtones Libyens (Hérodote), ou Gétules (Strabon). Quoique toutes ces références sont sujettes aux controverses vu leurs imprécisions, De Villaret conclut que la population, qu'elle soit appelée Gétule ou Berbère, semble habiter la même contrée, les mêmes pratiques sociales faisant d'elle la même population différemment appelée selon les auteurs.



Fig 5- 3 : Les Dolmens à l'entrée de l'actuelle Djelfa. Photo de : Auteur.

Planche VI: LE BUBALE ANTIQUE

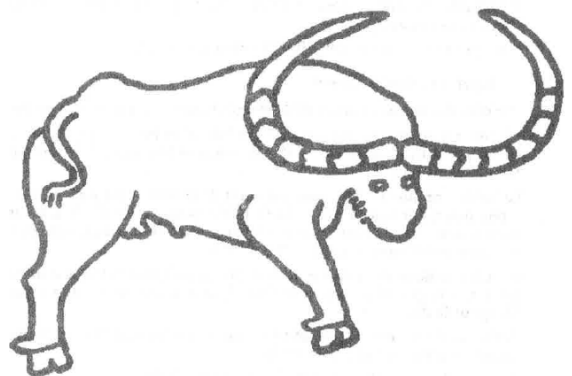


Fig 5- 4 : Exemple de gravure rupestre. Source : De Villaret (1995).

⁶⁰ L'histoire de Djelfa est étudiée principalement sur la base de quelques écrits recueillis en bonne partie dans les deux ouvrages du père François de Villaret, retraçant sur la base de plusieurs sources l'histoire de la région partant de la préhistoire jusqu'à l'ère post-indépendance.

⁶¹ « Il ne faut pas s'attendre à ce que les textes anciens soient précis. Leurs auteurs n'avaient pas une connaissance personnelle de la région mais ils se basaient principalement sur ce qu'ils ont entendu dire et souvent la légende se mêle à l'histoire ». (De Villaret : 1995 : 19).

⁶² L'origine du mot berbère semble avoir plusieurs sens et significations. Pour les romains, tout peuple n'ayant pas de racine latine est barbare. Ainsi, Germain, Gaulois, Ibères, Libyens, Gétules, Arabes, Persans et Vandales étaient tous barbares (De Villaret : 1995). (ii) d'après De Villaret, le mot berbère semble aussi venir d'Ifrikos, fils d'un roi yéménite, qui, en séjournant dans la région et n'ayant que peu compris le langage des autochtones, il demanda : « quelle Berbera est la vôtre », Ibn Khaldoun décrit le mot par les rugissements confus poussés par les lions, un lion *berber*(ibidem). (iii) Enfin, la population berbère semble être la descendance d'un certain Berr, descendant de Cham fils de Noé (idem).

La région de Djelfa ne fut jamais occupée par les romains, et les quelques limes installés dans la région n'avaient qu'un rôle défensif. La région fut berbère de 1500 AC jusqu'à 1000 PC et les véritables modifications sociales ne furent ressenties qu'avec l'arrivée des Beni Hilal au 11^{ème} siècle de l'Égypte, pour chasser les Zénètes engagés par le Sultan de Tlemcen Bakhti contre les Almohades suite à son allégeance aux Abbassides (Idem : 50). Les tribus des Beni Hilal se développent avec le temps, et se dispersent sur toute la zone de Djelfa. Dès le 17^{ème} siècle, l'ascension des Ouled Naïel⁶³ a commencé suite à leur victoire devant la tribu des Sahari⁶⁴. La région de Djelfa est restée souveraine jusqu'à l'arrivée des Ottomans, qui ont pu annexer la région avec difficulté au Beylik Titteri sous Yahya Agha en 1725. Avant le milieu du 19^{ème} siècle, la ville de Djelfa, telle que connue aujourd'hui, n'existait point. Il n'y avait qu'une intersection de deux voies, l'une orientée selon un axe Est-Ouest, et l'autre Nord-Sud. Les Ottomans étant affaiblis dès l'arrivée des Français, l'anarchie régna dans la région et plusieurs combats isolés furent lancés contre les soldats français. Pour les contrer et contrôler la région, les Français installèrent des forts militaires. Vu la situation stratégique du village de Djelfa, le 10 janvier 1860, les Français ont décidé d'y installer un centre de population de 55 feux⁶⁵ (De Villaret : 1995) (voir figure ci-dessous). Placée au centre des tribus nomades, cette réalisation qui s'est développée rapidement, constitue une charnière entre l'ancien mode de vie tribal et une société moderne.

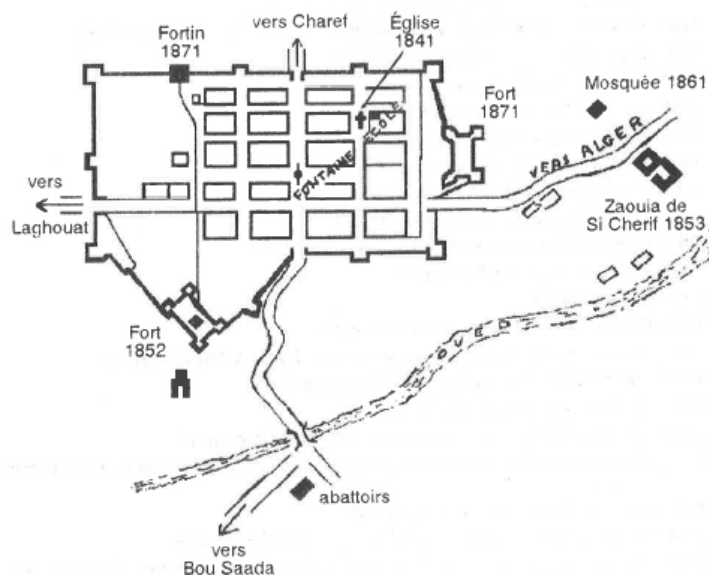


Fig 5- 5 : Djelfa en 1882. Source : De Villaret : 1995 : 132.

⁶³ Sidi Naïl serait né entre 1484 et 1504. La tradition dit que Sidi Naïl de son vrai nom Mohamed ben Abdallah Elkherchoufi naquit à Saquiet El-hamra. Elève à Miliana de Cheikh Sidi Ahmed ben Youcef. Le cheikh leur avait fait un test en leur annonçant qu'il avait vu une révélation selon laquelle il allait immoler ceux d'entre eux qui accepteraient de faire le sacrifice de leur personne. Beaucoup d'élève esquiverent le test. Sidi Naïl fut un des 7 élèves qui sont restés. Le Cheikh Ahmed Ben Youssef lui dît : « Tu seras saint et protecteur, tes enfants auront le ciel comme couche et comme couvert. De visage doux et de cœur plus doux, ils menèrent les hommes comme on mène les moutons. » p77. Suite de quoi, Sidi Mohamed Elmakhouloufi fut surnommé Naïl parce qu'il avait « obtenu » cette bénédiction. Sidi Nail resta une période sur Alger, jusqu'à ce que le Cheikh Ahmed Ben Yousef lui demanda d'aller vers le sud et il s'y installa au début à Ain Rich.

⁶⁴ On raconte que un des chefs Sahari, appelé Moussa Ben Amor, surnommé les Ben Harrag, était un homme puissant et riche, mais sa situation le poussa à l'orgueil et au mépris de SIDI Mohamed Ben Alya qui le maudit et donna sa bénédiction aux Ouled Naïl. La tête de moussa prit subitement feu, et ne voulant pas s'abaisser en demandant le pardon, il s'enfuit et mourut loin de ses sujets. (De Villaret : 1995).

⁶⁵ Soit une population de 110 à 275 habitants sur une superficie de 1775 hectares, 92 ares, 63 centiare. Chaque feu est associé à un nombre précis d'habitant variant généralement de 2 à 5 habitants. Les feux ont été utilisés comme unité d'imposition. (Meuriot :1916)

La ville de Djelfa est restée annexée à la wilaya de Médéa jusqu'à 1974, la date du premier remaniement territorial. Elle contient aujourd'hui 36 communes s'étalant du nord vers le sud sur deux étages climatiques, semi-aride au Nord et aride au Sud. Dans le présent chapitre, le potentiel de maîtrise de l'énergie sera identifié par rapport à deux échelles spatiales, l'échelle de la commune et l'échelle du bâtiment. Celle de la mobilité sera traitée dans le dernier chapitre de la thèse.

5.1. Identification du potentiel de maîtrise de l'énergie à l'échelle de la commune de Djelfa

Le potentiel de maîtrise de l'énergie vise à identifier le potentiel de réduction des déterminants sélectionnés dans la synthèse de la deuxième partie. Cette première échelle d'approche vise à étudier l'impact des caractéristiques des occupants et des habitations à l'échelle des communes de la wilaya de Djelfa, dans les zones climatiques aride et semi-aride. Elle s'appuie sur la consommation réelle du gaz et de l'électricité des ménages. Dans le cas où l'effet des déterminants sélectionnés est statistiquement significatif, leurs impacts seront évalués par le truchement des analyses de sensibilité.

5.1.1. Localisation géographique et étage climatique de la wilaya de Djelfa

La wilaya de Djelfa se situe entre 34,3 latitude et 3,7 de longitude et une altitude de près de 1200 m. Djelfa est composée de 36 communes dont 30 sont situées dans une zone climatique semi-aride au nord de la wilaya et 6 communes dans l'aride au sud (voir figure ci-dessous).

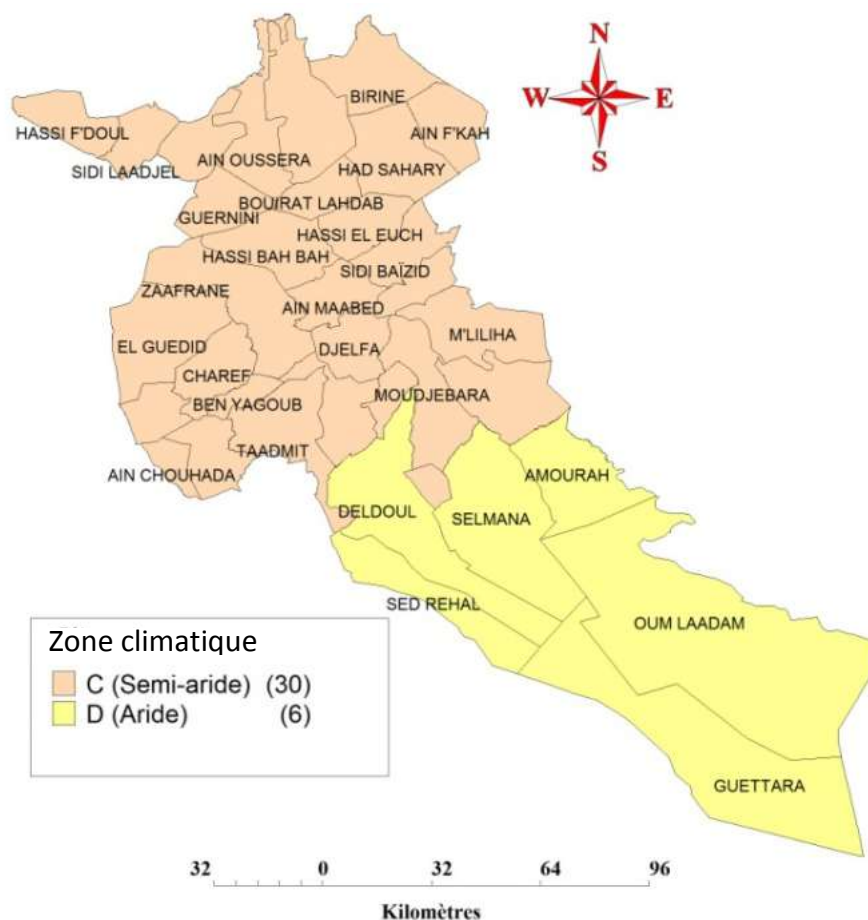


Fig 5- 6 : Zones climatiques à Djelfa. Source : Elaboré par Boukarta sous Mapinfo à partir de DTR 3.2 (2004).

5.1.2. Collecte et gestion des données pour l'analyse

5.1.2.1. Données de consommation d'énergie des communes

La consommation d'énergie est acquise auprès de la Sonelgaz (2013), l'entreprise chargée de facturer la consommation d'énergie en Algérie. Les données énergétiques contiennent la consommation de gaz et d'électricité des bâtiments résidentiels des communes de Djelfa en 2013. La figure 5-7 présente la consommation d'énergie et la densité pour cette même année. Les données de consommation d'énergie ne sont obtenues que pour l'année 2013. Pour que les données de consommation d'énergie soient utilisables avec les données du recensement général de la population et de l'habitat de 2008, nous avons dû modéliser la consommation d'énergie pour pouvoir estimer la consommation d'énergie de 2008. Pour ce faire, une analyse de régression linéaire nous a permis d'obtenir deux modèles estimatifs de la consommation de l'électricité et du gaz.

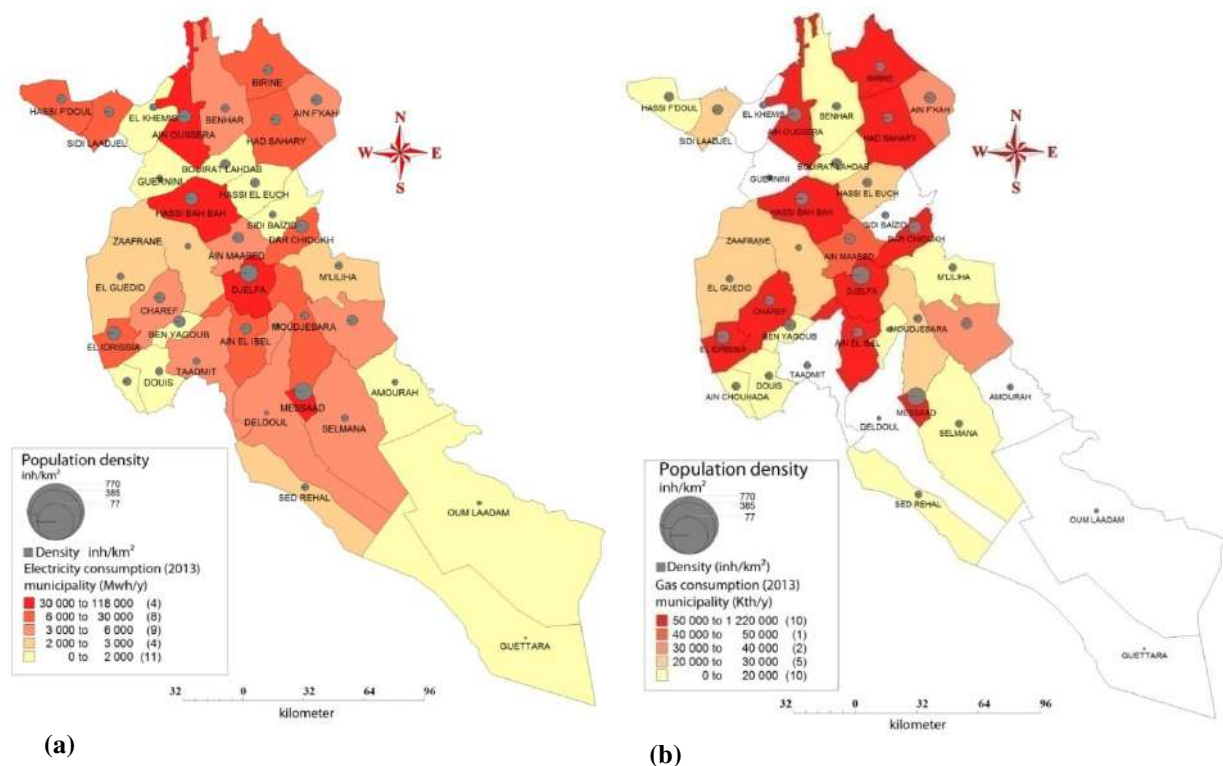


Fig 5- 7 : Consommation de (a) l'Électricité et (b) Gaz pour bâtiments résidentiels (2013). Source : Boukarta sous Mapinfo à partir des données de la Sonelgaz.

5.1.2.2. Estimation de la consommation d'énergie pour 2008

Dans la mesure où les données obtenues des consommations d'énergie à l'échelle des communes n'existent que pour l'année 2013 et les variables liées aux caractéristiques des habitations et des ménages sont incluses dans les données du recensement de 2008 (ONS: 2011), pour pouvoir évaluer leur implication dans la consommation d'énergie disponible pour 2013, nous avons effectué deux modèles estimatifs basés sur les analyses de régression linéaire afin d'estimer la consommation d'énergie de l'électricité et du gaz pour l'année 2008. Les calculs ont été faits sachant que les prix du gaz et de l'électricité n'ont pas changé entre 2008 et 2013 et que les conditions climatiques et le comportement des occupants sont considérés comme stables pendant cette période.

Toutes les données ont été vérifiées pour s'assurer qu'elles sont normalement distribuées avant d'effectuer les analyses de régression linéaire. Les variables ne respectant pas les conditions de

normalité en ayant une valeur supérieure à 1 pour le test de Skewness (Asymétrie) ou hors de la plage de 2, -2 pour le test de Kurtosis (Kim: 2013), ont subi une transformation logarithmique pour corriger la déviation observée par rapport à une distribution normale avant d'être utilisées dans l'analyse. (Voir le tableau 5-1 ci-dessous).

Tableau 5- 1 : Valeur moyenne, écart type et tests de normalité des variables. Source : S. Boukarta

Variables (2013)	Moyenne	Ecart-type	Skewness	Kurtosis	avec transformation log10	
					Skewness	Kurtosis
Nombre d'abonnés au Gaz	3 126.86	7 523.27	4.35	21.32	0.80	0.13
Gaz (Kth)	80 545.56	210 208.39	4.84	25.86	0.72	0.11
Nombre d'abonnés à l'électricité	3 968.75	8 209.25	4.13	19.38	0.74	0.56
Electricité (Mwh)	10 139.75	21 255.03	4.18	19.66	0.51	0.56
Nombre de population	35 667.14	64 194.61	4.51	22.92	0.32	1.77
Nombre d'habitations	6 256.29	9 888.58	4.03	18.07	0.91	0.59

Les variables significatives dans le modèle du Gaz concernent le nombre d'abonnés raccordés au réseau du gaz. Le modèle réalisé présente une précision de 98,3% (valeur R²). Alors que pour le modèle de prédiction de la consommation de l'électricité, la précision du modèle est 93,7%. Le modèle ne tient compte que du nombre d'abonnés raccordés au réseau d'électricité. (Voir Fig.4, 5 et tableau 2 ci-dessous).

Tableau 5- 2 : Sommaire du modèle de gaz et d'électricité. Source : S.Boukarta

Electricity model summary					Gas model summary				
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients Beta	Sig.	Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients Beta	Sig.
	B	Std. Error				B	Std. Error		
(Constant)	0.927	0.268		0.002	(Constant)	1.635	.163		.000
log10_Abonés_Electricité	1.239	0.097	1.178	0.000	Log10_ Abonés_gaz	1.141	.050	1.097	.000
log10_nombre d'habitation	-0.372	0.145	-0.238	0.015	Log10_nombre de population	-.161	.065	-.120	.020

Pour valider les modèles réalisés, l'exigence de normalité est également vérifiée pour le résiduel standardisé basé sur le test de Skewness, Kurtosis, Kolmogorov-Smirnova et Shapiro-Wilktests. De plus, les résultats présentés au tableau 5-3 valident les modèles réalisés. Le tableau présente également les valeurs de tests qui correspondent aux conditions de normalité et valident le modèle.

Tableau 5- 3 : Test de normalité des deux modèles. Source : S.Boukarta

Test de validation							
Modèle d'électricité				Modèle de gaz			
Skewness	Kurtosis	Kolmogorov-Smirnova	Shapiro-Wilk	Skewness	Kurtosis	Kolmogorov-Smirnova	Shapiro-Wilk
.745	.426	.200*	.092*	-.334	-.718	.200*	.570*

* les deux test, Kolmogorov-Smirnova et Shapiro-Wilk ont une *p*-value supérieure à 0.05 ce qui indique une distribution normale (Ghasemi et Zahediasl: 2012, Öztuna et al : 2006).

Sur la base de ces deux modèles, nous avons estimé la consommation d'énergie pour l'année 2008 en introduisant dans les modèles le nombre d'abonnés au réseaux de gaz et d'électricité et le nombre d'habitations et de population par commune pour l'année 2008. Les cartes de Figure 5-8 présentent la consommation de gaz et d'électricité des ménages de 2008 dans le département de Djelfa.

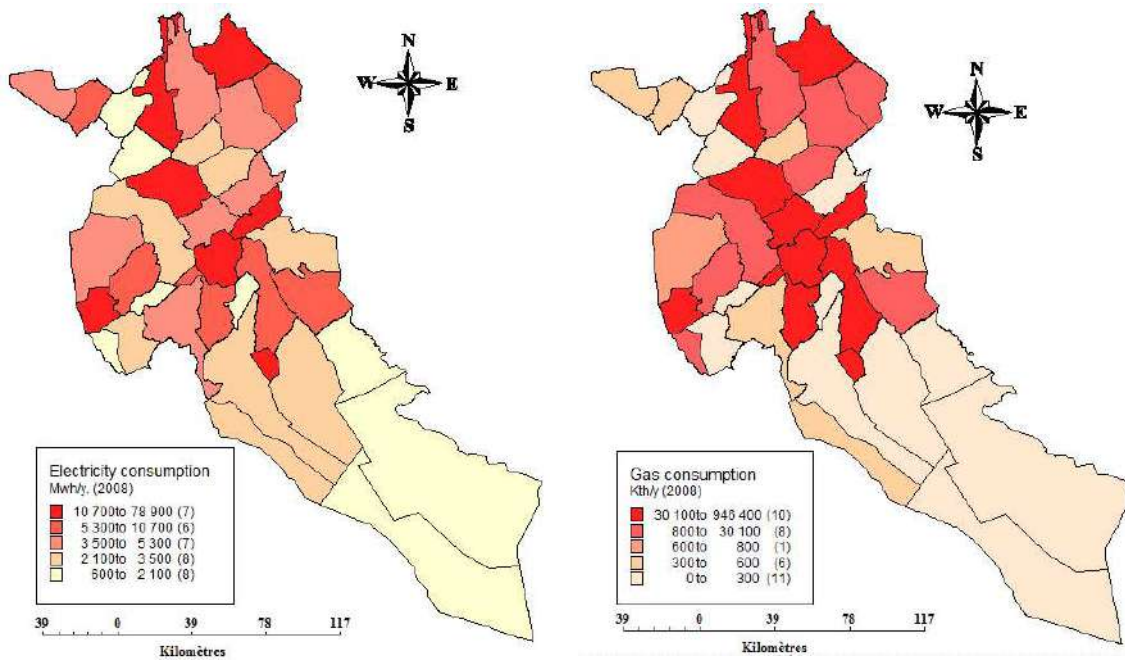


Fig 5- 8 : Consommation du Gaz et de l'électricité par commune pour l'année 2008. Source : S.Boukarta sous Mapinfo.

5.1.2.3. Gestion des données du RGPH 2008

En Algérie, Le recensement général de la population et de l'habitat (RGPH) est réalisé par le gouvernement tous les dix ans pour recueillir des informations sur la population et les habitations. Il contient principalement des informations sur les habitations, les ménages et les caractéristiques de la population. Pour notre recherche, nous avons sélectionné et organisé le recensement en 7 registres, comme suit:

(i) **Distribution de la population** qui contient la densité de la population, le nombre de la population dans l'agglomération chef-lieu de la commune (ACL), le nombre de population vivant dans l'agglomération secondaire (AS) et la zone éparse (ZE). (ii) **Caractéristiques des occupants**: âge moyen par communes, niveau d'éducation et le nombre de personnes âgées de plus de 60 ans. (iii) **Occupation du logement**: la taille du ménage (TOL), taux occupation par chambre (TOP) et la superficie moyenne par logement. (iv) **Types d'habitation**, avec logements collectifs, logements individuels et traditionnels. (iv) **Registre des appareils ménagers**, qui contient le taux d'équipement (possession de la télévision, cuisinière, réfrigérateur, machine à laver et climatiseur). En plus des données du RGPH, nous avons additionné: (vi) **Consommation d'énergie**, organisée en consommation de gaz et d'électricité par commune et logement. (vii) **Zone climatique** contenant deux zones, une zone aride et semi-aride.

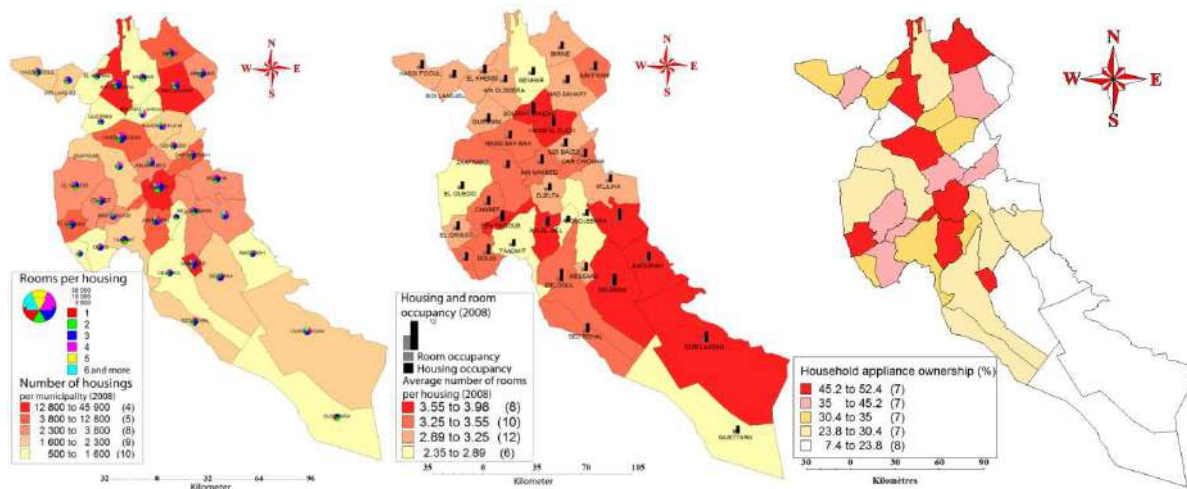


Fig 5- 9 : (a) nombre de logement et nombre de chambre, (b) taille des ménages, TOP and nombre moyen de chambre par habitation, (c) taux d'équipement (Tv, cuisinière, machine à laver, réfrigérateur et climatiseur). Source : S.Boukarta à partir des données de l'ONS (2011).

5.2. Résultats de l'analyse

5.2.1. Stratégie d'analyse

L'analyse statistique des variables choisies a été réalisée par le logiciel SPSS. Comme présenté ci-dessus, le test de normalité a été vérifié pour tous les paramètres avant d'effectuer les analyses. Une transformation de variables log10 a été effectuée pour chaque paramètre ne respectant pas le test de normalité. Seule la densité de population et le nombre des personnes âgées de plus de 60 ans par commune ne correspondaient pas au test de normalité.

5.2.2. Analyse des données

5.2.2.1. Analyse en composantes principales comme diagnostic de corrélations potentielles

Dans notre cas, sur la base des données des communes présentées ci-dessus, l'ACP révèle 4 profils énergétiques de commune en fonction de la consommation de gaz et d'électricité, ainsi que les caractéristiques des communes selon les catégories suivantes : distribution de la population, caractéristiques des ménages, occupation du logement, types d'habitation et le registre des appareils ménager (Voir figures 5-10 et 5-11).

La lecture de l'ACP réalisée (fig 5-10) montre une projection bi-axiale, l'axe X sépare les communes en fonction de la consommation d'énergie à l'échelle du logement. Les communes projetées sous l'axe X, leurs habitations consomment plus d'énergie que celle projetées au-dessus de l'axe X. Alors que l'axe Y distingue les communes en fonction de la consommation d'énergie considérée à l'échelle de la commune ce qui signifie que toutes les communes projetées du côté droit de l'axe Y consomment plus d'énergie que les communes projetées du côté gauche de l'axe Y.

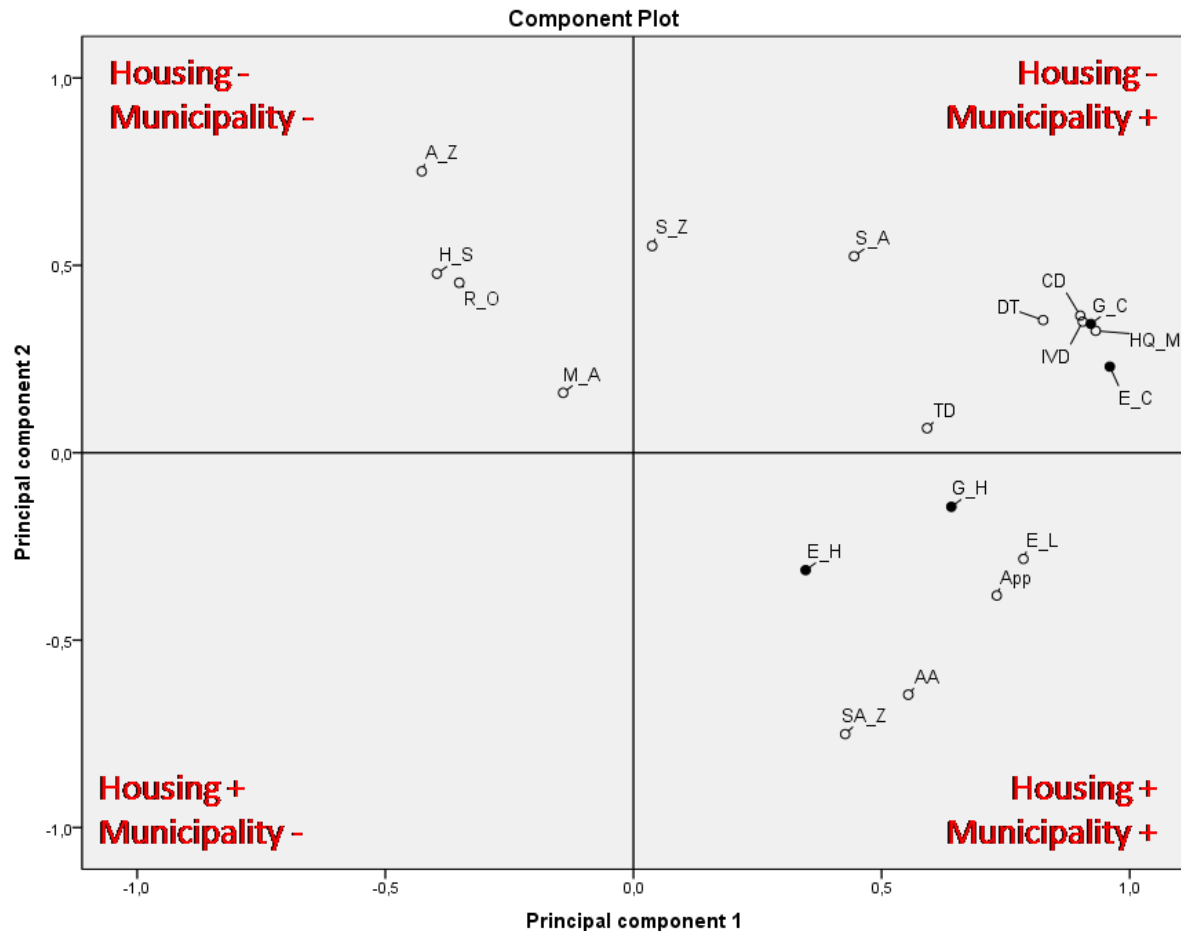


Fig 5- 10 :ACP de toutes les variables utilisées pour regrouper les communes en fonction de leurs caractéristiques démographiques, de type de logements, de la distribution de la population, de la zone climatique et de taux d'équipement par ménage et par communes.

Légende : A_Z = Zone aride, SA_Z= zone semi-aride H_S = Taille du ménage, R_O= Taux d'occupation par chambre ,M_A = surface moyenne, HQ_M= population agglomérée en Chef lieu, S_Z= Population en zone épars, S_A= Population en zone secondaire, DT= Densité de population, CD= Habitat collectif, IVD= habitat individuel, TD= habitat traditionnel, G_C= consommation du gaz par communes, E_C= consommation de l'électricité par communes, G_H= consommation du gaz par ménage et par communes, E_H= consommation de l'électricité par ménage et par communes, E_L= niveau d'éducation, App= taux d'équipement, AA= Age moyen par communes. Source : S.Boukarta

Dans la Fig. 5-11 ci-dessous, à partir de la projection axiale des variables explicative, les profils énergétiques identifiés sont : **(i) Groupe 1** représenté en rouge (8.3%). Il regroupe les communes consommant plus d'énergie à l'échelle des habitations et celle de la communes, et qui représentent le profil le plus défavorable. Ce profil est caractérisé par le taux d'équipement et le niveau d'éducation les plus élevé de la wilaya ; **(ii) Groupe 2** regroupant les communes qui consomment moins d'énergie pour les deux échelles, représenté en vert foncé (16,7%). Ce groupe de communes est caractérisé par la taille (TOL), la surface d'habitation et le taux d'occupation par chambres les plus importants dans toute la wilaya. Aussi, toutes les communes du groupe se trouvent projetées dans la zone climatique aride ; **(iii) Groupe 3**, représenté avec la couleur orange, regroupant les communes qui consomment moins d'énergie à l'échelle municipale et plus à l'échelle de l'habitation (72,72%). Ce groupe occupe une situation intermédiaire entre les groupes 2 et 4. La consommation d'énergie à l'échelle de l'habitation est moindre par rapport aux groupes 1 et 4 mais supérieure à celle du groupe 2. Ce groupe a une surface d'habitation, taille de ménage, taux d'occupation par pièce, âge moyen et un niveau d'éducation moyen ainsi qu'une population jeune ; **(iv) Groupe 4** constitue le profil des communes consommant plus d'énergie à l'échelle de la commune et moins à l'échelle du logement. Ce groupe est représenté en vert clair et n'en contient que la ville de Djelfa (2.8%), et qui, en plus

d'une taille des ménages (TOL) et surface d'habitations faible par rapport aux autres communes, témoigne de la plus forte densité dans cette commune. La densité semble avoir un potentiel réducteur de Gaz et d'électricité à l'échelle des habitations. Le type d'habitation ne semble être lié qu'à la consommation à l'échelle des communes et la différenciation de leur impact n'est pas claire à cette échelle et à travers l'ACP.

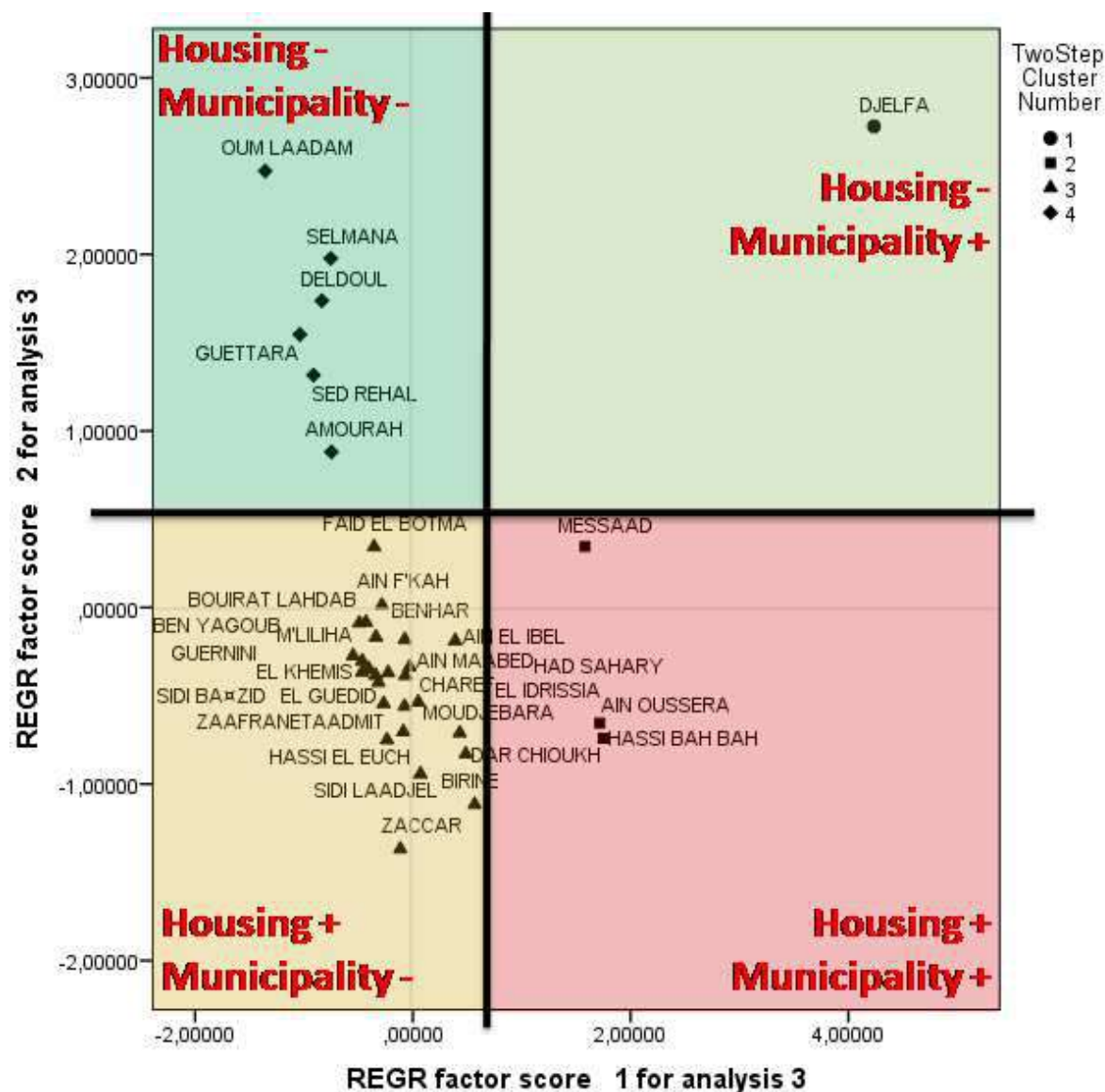


Fig 5- 11 : Projection des communes de Djelfa selon de l'ACP. Source : S.Boukarta

Le tableau 5-4 résume les caractéristiques des quatre profils énergétiques des ménages selon la répartition de la population, les caractéristiques du logement, l'occupation du logement, le type d'habitation et le taux d'équipement. Selon les résultats de l'ACP, les variables socio-économiques (l'âge, niveau d'éducation, l'occupation des habitations), les caractéristiques des habitations (surface et type d'habitation) et la distribution de la population (densité) ont un impact explicatif sur la consommation d'électricité et de gaz des ménages.

Tableau 5- 4 : Caractéristiques des profils énergétiques identifiés à partir de l'ACP. Source : S.Boukarta

Groupe			1	2	3	4
Marque			■	▲	●	◆
Consommation d'énergie par habitation et par commune			+	+	-	-
Consommation d'énergie par communes			+	-	+	-
Taille du groupe			3 (8.3 %)	26 (72.2%)	1 (2.8 %)	6 (16.7 %)
Variables Explicatives	Zone climatique		Semi-aride	Semi-aride	Semi-aride	Aride
	Distribution de la population	Densité de population	moyennement dense	faiblement dense	Dense	faiblement dense
		Nombre de population agglomérée en chef lieu	Moyennement peuplée	Faiblement peuplée	Fortement peuplée	Faiblement peuplée
		Population en zone secondaire	moyennement peuplée	faiblement peuplée	faiblement peuplée	Faiblement peuplée
		Population en zone éparse	Moyennement peuplée	Faiblement peuplée	Moyennement peuplée	Fortement peuplée
	Caractéristiques des ménages	Age moyen	Agées	Moins agées	Plus agées	moins agées
		Niveau d'éducation	élevé	Bas	le plus élevé	le plus bas
	Occupation des habitations	Surface moyenne d'habitation	moyenne	élevée	basse	élevée
		Taux d'occupation par chambre	faible	élevé	le plus faible	le plus élevé
		Taille des ménages	faible	élevée	le plus faible	le plus élevée
	Type d'habitation	Taux d'habitat collectif	élevé	faible	le plus élevé	le plus faible
		Taux d'habitat individuel	élevé	faible	le plus élevé	faible
		Taux d'habitat traditionnel	élevé	moyen	élevé	faible
	Taux d'équipement (Tv, cuisinière, machine à laver, réfrigérateur et climatiseur)		élevé	moyen	le plus élevé	faible

A partir de l'ACP et du tableau présenté ci-dessus, les principaux facteurs réduisant la consommation de gaz et d'électricité à l'échelle des habitations sont les suivants : augmentation de la taille du ménage, du taux d'occupation des chambres, de la densité de population et de la population vivant dans le chef-lieu de la commune et du nombre de la population résidant dans les agglomérations secondaires, ainsi qu'une réduction de la superficie des habitations et la distribution spatiale des habitations par types. Il s'avère que la commune de Djelfa est la commune ayant le taux le plus élevé en habitat collectif. Les facteurs générant plus de consommation d'énergie sont : l'augmentation du niveau d'éducation, de l'âge moyen et du taux d'équipement par ménage.

Toutes les communes situées dans la zone climatique semi-aride consomment plus d'énergie que celles situées dans la zone aride. Cette observation pourrait s'expliquer par le nombre de population qui est plus élevé dans la zone semi-aride par rapport à la zone aride. Cette situation nous semble cependant peu informative, car une zone aride est caractérisée par des températures élevées pendant l'été et des températures très basses pendant la nuit. Le croisement de la faible consommation d'énergie avec les caractéristiques climatiques de la zone aride nous renvoie sur deux pistes d'explications : (a) L'usage d'autres sources d'énergies que le gaz et l'électricité, et cette piste se trouve corroborée par le faible taux de raccordement observé dans ces communes aux réseaux du gaz et d'électricité ; (b) Une vulnérabilité énergétique des ménages résidant les communes de la zone

aride et ne pouvant satisfaire leur besoin en énergie. Cette deuxième piste est justifiée par le faible taux d'équipement par ménage. L'absence de données portant sur le revenu des ménages laisse ces pistes dans une situation d'hypothèse flottante, nécessitant plus d'approfondissement notamment avec des études à une échelle plus sensible que celle de la commune.

Le point suivant analyse plus précisément, et quantifie, l'impact des variables explicatives citées *supra*.

5.2.2.2. Analyse de corrélation bi-variée

L'analyse de corrélation évalue le degré d'association entre deux variables continues. R est le coefficient de corrélation de Pearson. Il mesure la dépendance linéaire entre les deux variables. Alors que R^2 exprime la variance partagée calculée en mettant au carré le coefficient de corrélation R. La valeur de R^2 pourrait avoir une valeur comprise entre 0 à 1 où 1 indique un ajustement parfait et 0 indique aucune corrélation ou association entre les variables explicatives. La Pvalue est la mesure de la probabilité. Une corrélation est considérée comme significative pour un niveau de Pvalue inférieur à 0,1, 0,05 ou 0,01 (Chen et al: 2013, Field: 2009). Les résultats de la corrélation sont indiqués sur le tableau 5-5:

Tableau 5- 5 : Corrélations bi-variées entre la consommation d'énergie et les variables explicatives liées aux caractéristiques des ménages et des habitations, à la densité et aux taux d'équipement. Source : S.Boukarta

Variables explicatives		ICE		Gaz		Electricité	
		R ²	Sig.	R ²	Sig.	R ²	Sig
Caractéristique des ménages	Age moyen	,594**	.000	,590**	.000	,362*	.030
	Niveau d'éducation	,521**	.001	,551**	.000	.018	.916
	Personne âgées plus de 60 ans	,514**	.001	,564**	.000	-.166	.332
Caractéristique des habitations	Surface moyenne des	-	.000	-	.001	-	.000
	Taille des ménages (TOL)	-	.000	-	.000	-	.000
	Taux d'occupation par pièce (TOP)	-.321	.057	-,330*	.049	-.089	.604
Distribution	Densité de population	,335*	.046	,395*	.017	-,356*	.033
Taux d'équipement	Climatiseur	.280	.099	.287	.089	.086	.616
	Cuisinière	,348*	.038	,390*	.019	-----	-----
	TV	,490**	.002	-----	-----	.078	.653
	Réfrigérateur	,358*	.032	-----	-----	.044	.800
	Machine à laver	.253	.137	-----	-----	-.234	.170
	Taux d'équipement	,431**	.009	-----	-----	.006	.973
Type d'habitat	Habitat collectif (HC)	0,125	0,46	,433**	0,008	,393*	0,017
	Habitat individuel (HI)	0,218	0,20	,521**	0,001	,403*	0,014
	Habitat traditionnel	0,094	0,58	,396*	0,017	,396*	0,021
	Densité HI/HC	-0,014	0,93	-0,23	0,17	-0,081	0,63
	Densité HT/HC	-0,047	0,78	-0,10	0,55	-0,12	0,46

** Corrélation significative au niveau 0.01.

* Corrélation significative au niveau 0.05.

Avec, ICE: indices de consommation d'énergie par personne (kwh/m².a), G : consommation du gaz par personne (kwh/m².a), E : Consommation de l'électricité par personne (kwh/m².a).

5.2.3. Discussion des résultats des corrélations bi-variées

- **Corrélations des variables énergie-ménage**

L'âge moyen est positivement corrélé avec la consommation d'énergie dans la wilaya de Djelfa, tandis que le nombre de personnes âgées de plus de 60 ans indique une corrélation négative avec la consommation d'électricité et positive avec la consommation de gaz. L'âge moyen dans notre analyse de corrélation bi-variée ne montre pas de grande différence entre les communes, car tout le département de Djelfa a une population jeune par rapport aux départements du Nord de l'Algérie. L'âge moyen de l'ensemble du département est d'environ 30 ans. C'est pourquoi nous avons introduit les personnes de plus 60 ans comme critère distinctif pour évaluer l'influence de l'âge sur la consommation d'énergie. Les ménages plus âgés consomment plus de gaz et moins d'électricité. Nos résultats viennent corroborer la tendance internationale revue en état de l'art. Rory et al (2015) ont trouvé que les personnes de plus de 65 ans consomment moins d'énergie électrique que l'autre population. En Irlande, Leahy et Lyons (2010) confirment cette tendance, les personnes entre 45 et 64 consomment plus d'électricité, alors que la consommation d'électricité pour les personnes plus de 65 ans diminue significativement. De plus, la faible consommation d'électricité observée chez les personnes de plus de 60 ans pourrait être rapportée aux faibles taux d'équipement ainsi qu'aux revenus des ménages plus âgés qui pourraient avoir un revenu inférieur à celui des ménages actifs (Rory: 2015).

L'énergie principale utilisée pour le chauffage en Algérie et aussi pour Djelfa est l'énergie du gaz. Fanger (1972, rapporté par Chen et al: 2013) a trouvé que la différence de perception du confort thermique entre une personne de 20 ans et 65 ans est d'environ 4,7 W / m². Selon Liao et Chang (2002), Linden et al (2006) et Chen et al (2013), les personnes âgées ont tendance à consommer plus d'énergie que les ménages plus jeunes pour le chauffage des locaux. Pour le cas de Hangzhou, en Chine, Chen et al (2013) ont trouvé que l'âge est un facteur plus important que le revenu.

Le niveau d'éducation dans le département de Djelfa n'affecte pas la consommation d'électricité qui est en accord avec plusieurs études comme Bedir et al (2013) pour le cas néerlandais et Cramer et al (1985) pour le cas américain, qui confirment cette tendance. Par contre, au Danemark, Gram-Hanssen et al. (2004) ont constaté qu'avec un niveau d'éducation supérieur, la consommation d'électricité diminue. En outre, Zhou et Teng (2013) montrent qu'en Chine, la consommation d'électricité augmente avec le niveau d'éducation.

D'autre part, nos résultats montrent que le niveau d'éducation augmente la consommation de gaz dans le département de Djelfa. Au Soudan, Hammad et al (2014) ont trouvé une corrélation positive entre la consommation de gaz et le niveau d'éducation des ménages. Alors qu'en Irlande, Harold et al (2015) ont constaté qu'avec un niveau d'éducation supérieur, la consommation du gaz diminue à cause de la sensibilisation aux risques environnementaux.

- **Corrélation des variables énergie-caractéristiques des habitations**

La superficie moyenne des habitations dans la wilaya de Djelfa a une corrélation négative (effet positif) avec la consommation d'électricité et du gaz. Nos résultats présentent une situation contradictoire à la plupart des recherches revues dans le chapitre 4, car une augmentation dans la superficie des habitations induit intuitivement plus d'énergie pour le chauffage et le rafraîchissement (Baker et Rylatt: 2008, Tso et Yau: 2007; Wiesmann et al: 2011; Kavousian et al: 2013). Néanmoins, certaines études sont arrivées aux mêmes résultats que les nôtres, Brounen et al (2012) par exemple

ont trouvé une corrélation négative entre le nombre de pièces et la consommation d'électricité. L'explication pourrait alors être rapportée au taux d'utilisation réelle de la surface habitable. Aussi, pour notre cas, le recours à des sources d'énergie autre que le gaz et l'électricité, tel que le Mazout, est très probable. D'autres études n'ont trouvé aucun impact de la surface de l'habitation sur la consommation d'électricité (Bedir et al: 2013, Tso et Yau: 2007).

Dans le cas de la wilaya de Djelfa, la taille des ménages montre une corrélation négative pour la consommation d'électricité et de gaz. L'explication pourrait être rapportée au revenu, le taux le plus faible d'équipements et le plus faible taux de raccordement au réseau gazier et le taux d'éducation le plus faible ainsi qu'au possible phénomène de partage des appareils ménagers entre les membres des ménages (Gram-Hanssen: 2011). Kelly (2011) au Royaume-Uni a trouvé que la taille des ménages a l'impact le plus important et réduisant la consommation d'énergie, suivie de la surface et du revenu.

Le taux d'occupation des chambres (TOP) à Djelfa a une corrélation négative avec la consommation de gaz car l'augmentation du taux d'occupation des pièces augmente aussi la température des chambres ce qui réduit le recours aux gaz pour le chauffage. Alam et al. (1998) et Ouedraogo (2006) ont trouvé le même résultat, un TOP élevé est associé à une réduction de la consommation d'énergie. Alors que le TOP ne semble pas avoir d'impact statistiquement significatif sur la consommation d'électricité dans les communes de Djelfa.

- **Corrélation des variables énergie-densité de population**

Dans la wilaya de Djelfa, la densité de population est positivement et significativement corrélée avec la consommation du gaz par habitant. Alors que la densité de population est négativement corrélée avec la consommation d'électricité par habitant. Dans la zone la plus dense, une diminution du rayonnement solaire pourrait augmenter la demande de chauffage et pourrait également diminuer la demande de refroidissement, ce qui explique la corrélation positive avec la consommation du gaz et négative avec la consommation d'électricité. Aussi, une densité élevée de population est souvent associée aux plus petits espaces de vie (Vande Weghe et Kennedy : 2007) ce qui explique cette faible consommation observée dans certaines communes comme Djelfa, chef-lieu de la commune.

- **Corrélation des variables énergie-taux d'équipement**

La possession des climatiseurs dans la wilaya de Djelfa n'a pas de corrélation significative avec la consommation d'électricité des ménages. Cela pourrait s'expliquer, d'une part, par le faible taux de propriété des climatiseurs avec un taux maximum d'environ 16% observé au niveau d'El Khemis. En d'autres termes, ce faible taux de possession de climatiseurs pourrait être expliqué par le revenu qui n'est pas fourni dans la base de données du RGPH de 2008. La même conclusion a été rapportée par Kavousian et al (2013) et Bedir et al (2013) qui confirment le même constat indiquant que de la propriété du climatiseur n'a aucun effet en Californie, aux États-Unis et aux Pays-Bas respectivement. En outre, plusieurs études ont montré une corrélation positive entre la possession de climatiseurs et la consommation d'électricité, comme dans le Sud-est du Canada (Ndiaye et Gabriel: 2011), au Sud-ouest de la Chine (Zhou et Teng: 2013) et Hong-Kong (Tso et Yau: 2007), qui constatent que la possession du climatiseur explique environ 59% de la consommation d'électricité. La relation significative est observée dans les régions où l'été est chaud (Jones et al: 2015). Alors que dans notre

cas, et malgré la chaleur que connaissent les zones arides et semi-arides en période estivale, le fait que le taux d'équipement en climatiseur est bas n'explique pas significativement la consommation d'électricité, une étude est à entreprendre à une échelle micro pour évaluer la vulnérabilité énergétique des ménages dans ces zones.

Le taux de possession de la cuisinière a une corrélation positive significative (0.39) avec la consommation de gaz dans le département de Djelfa. Dans les pays développés, l'appareil de cuisson est basé sur la consommation d'électricité et est positivement corrélé avec la consommation d'électricité (McLaughlin et al: 2012, Parti: 1980, Halvorsen et Larsen: 2001). Ce n'est pas le cas à Djelfa.

Dans la wilaya de Djelfa, la possession de télévision n'a pas d'impact significatif sur la consommation d'électricité et nos résultats correspondent aux résultats de Leahy et Lyons (2010) qui constatent que la télévision détient un très faible pourcentage de la consommation électrique des ménages. Mais d'autres études (McLaughlin et al: 2012, Kavousian et al: 2013) ont trouvé une corrélation positive avec la consommation d'électricité des ménages.

Le taux de possession du réfrigérateur n'a pas d'impact significatif sur la consommation d'électricité des ménages à Djelfa, ce qui est conforme aux résultats de Leahy et Lyons (2010) et Carter et al (2011). Ce résultat est contradictoire avec celui avancé par l'APRUE (2008) indiquant que le réfrigérateur explique jusqu'à 28% la consommation d'électricité d'un ménage en Algérie. Cette contradiction ne peut être expliquée que par le faible taux de possession du réfrigérateur dans la wilaya de Djelfa, ce qui occulte son effet à cette échelle.

Le taux de possession des machines à laver n'a pas, non plus, d'impact significatif sur la consommation d'électricité dans la wilaya de Djelfa. Ce résultat se trouve en concordance avec d'autres recherche (Tso et Yau : 2007, Leahy et Lyons : 2010). Ce résultat neutre peut être expliqué par le taux faible de possession des lave-linge dans la wilaya de Djelfa, ainsi que par l'utilisation qui semble ne pas être importante.

- **Corrélation type d'habitation-consommation d'énergie**

Les corrélations bi-variées dans la wilaya de Djelfa entre le type d'habitation et la consommation de l'électricité et du gaz n'ont d'impact significatif que par le nombre. En corrélant la densité des habitations individuelles et traditionnelles à celle de l'habitat collectif, la corrélation ne présente aucun effet significatif différenciant l'impact du type d'habitation sur la consommation du gaz et de l'électricité. Ceci dit, la corrélation bi-variée ne montre aucun effet du type d'habitation sur la consommation de l'électricité et du gaz dans la wilaya de Djelfa.

Les résultats présentés ci-dessus sont, pour la plupart, en accord avec nos attentes et avec l'état de l'art. Les caractéristiques des ménages et des habitations, ainsi que la densité sont des contributeurs plus importants à la consommation du gaz et d'électricité que le taux de possession des appareils ménager dans la wilaya de Djelfa. Cependant, une analyse de corrélation de Pearson n'est pas suffisante non plus pour identifier la relation causale, directe et indirecte, entre les paramètres et pour estimer l'impact de chaque paramètre sur la consommation de l'énergie. Pour être en mesure d'identifier l'impact de chaque paramètre, une analyse des pistes de causalité (Chen : 2013) a été effectuée sur la base de modèle d'équation structurelle (*structural equation modelling*) pour

déterminer l'effet des paramètres sélectionnés à partir des données du RGPH (2008) sur la consommation d'énergie.

5.2.4. Analyse des pistes causales

Pour estimer la contribution de chaque facteur, nous avons utilisé la modélisation par équations structurelles (MES) qui est une technique statistique utilisée pour identifier la combinaison potentielle entre les variables pour expliquer le phénomène observé. La MES utilise l'approche graphique des trajectoires pour représenter un ensemble d'hypothèses, de cadres conceptuels, théoriques ou intuitifs qui pourraient expliquer la relation des facteurs du phénomène observé. Les analyses par MES ont donc une portée intéressante d'exploration. La MES se base sur des techniques d'analyse de covariance et de régression. Pour valider une MES, un ensemble d'indices doit être satisfait: (i) La racine de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) doit être inférieure à 0,06 à 0,08 (Schreiber et al: 2006, Hooper et al: 2008) , (ii) l'indice d'ajustement normal (NFI) doit être supérieur à 0,95 (Hu et Bentler: 1999) et (iii) l'indice d'ajustement comparatif (CFI) doit être proche ou supérieur à 0,95 (Schreiber et al: 2006, Lacobucci: 2010) ou supérieur à 0,80 (Hooper et al: 2008). Une fois que le modèle correspond aux indices d'ajustement, le modèle est considéré comme robuste et nous pouvons estimer l'effet total, direct et indirect de chaque variable explicative.

Dans notre cas, nous avons considéré dans la MES tous les paramètres présentés ci-dessus et considérés pour la corrélation bi-variée pour estimer la contribution de chaque paramètre dans une logique structurelle. Sur la base de la littérature scientifique revue dans le chapitre 4, nous avons considéré les pistes de causalité présentées ci-dessous, où chaque piste (chemin) représente une hypothèse de causalité possible.

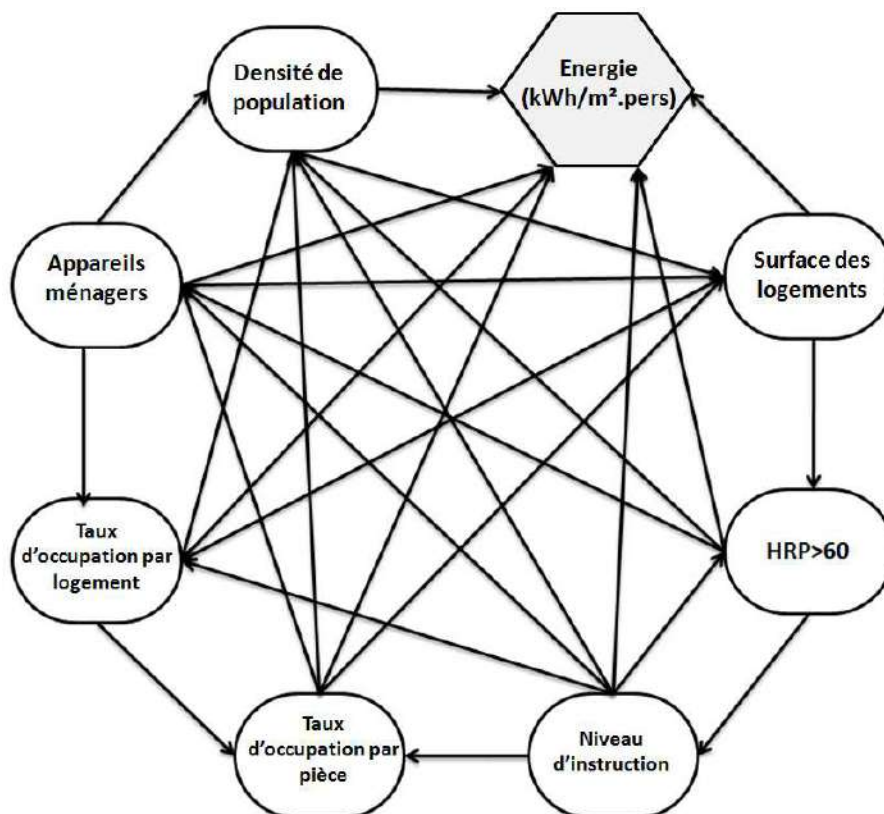


Fig 5- 12 : Pistes de causalité potentielle. Source : S.Boukarta. HRP>60 : Personne âgée de plus de 60 ans.

Dans le respect des conditions de validation du modèle présentées ci-dessous, et en testant les hypothèses (pistes) présentée ci-dessus, nous avons obtenu deux modèles structurels expliquant la consommation du gaz et de l'électricité des ménages dans la zone climatique aride et semi-aride de la wilaya de Djelfa.

5.2.4.1. Estimation de l'élasticité de la consommation de gaz

a. Indices d'ajustement

Comme présenté dans le tableau ci-dessous, tous les indices correspondent aux limites expliquées *supra* ce qui valide le modèle obtenu.

Tableau 5- 6 : Indices d'ajustement du modèle de la consommation du gaz

	<i>df</i>	χ^2	Niveau de probabilité	<i>RMSEA</i>	<i>NFI</i>	<i>CFI</i>
Gas model	8	8.908	0.35	0.057	0.964	0.996

La figure ci-dessous montre seulement les pistes de causalités significatives avec un niveau de signification (*P*value) de 0,07 et 0,05, et moins de 0,01 (voir tableau 5-7). Les pistes non significatives ont été écartées pour des raisons de clarté et de validation du modèle. La figure présentée ci-dessous montre l'effet direct standardisé de chaque facteur sur la consommation de gaz du ménage par habitant.

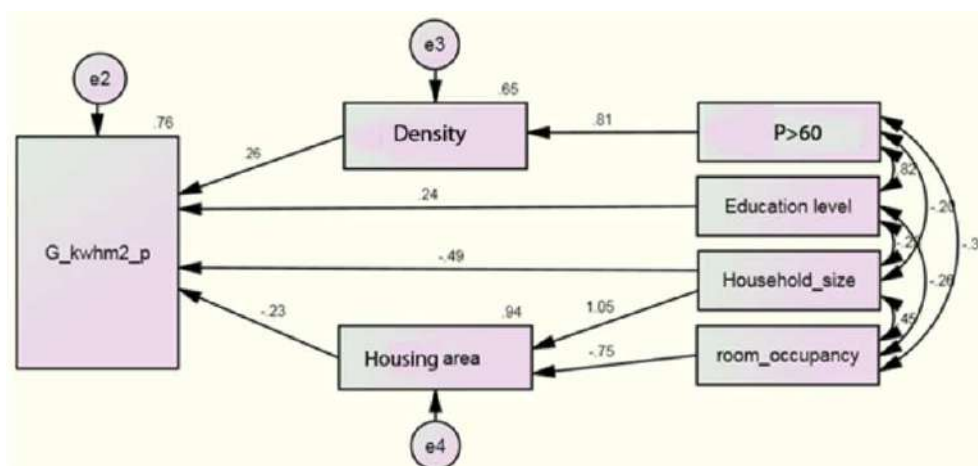


Fig 5- 13 : Effet direct standardisé pour la consommation du gaz (kwh/person.m².a). Source : S.Boukarta

Tableau 5- 7: Effets directs entre variables. Source : S.Boukarta

			Estimation	<i>P</i>
Superficie des habitations	<---	Taille des ménages	1.047	***
Superficie des habitations	<---	TOP	-.745	***
Densité	<---	Personne>60	.805	***
Gas (kwh/m2.p.an)	<---	Densité	.257	.021**
Gas (kwh/m2.p.an)	<---	Niveau d'instruction	.239	.032**
Gas (kwh/m2.p.an)	<---	Superficie des habitations	-.234	.052*
Gas (kwh/m2.p.an)	<---	Taille des ménages	-.493	***

***Significatif au niveau 0.001

** Significatif au niveau 0.05

* Significatif au niveau 0.06

Tableau 5- 8: Effets directs, indirects et totaux des variables. Source. S.Boukarta

	Effet	surface	Densité	Gaz
Personne âgée de plus de 60 ans	Direct	.000	.805	.000
	Indirect	.000	.000	.207
	total	.000	.805	.207
Taux d'occupation par pièce (TOP)	Direct	-.745	.000	.000
	Indirect	.000	.000	.174
	total	-.745	.000	.174
Taille des ménages	Direct	1.047	.000	-.493
	Indirect	.000	.000	-.245
	total	1.047	.000	-.738
Niveau d'instruction	Direct	.000	.000	.239
	Indirect	.000	.000	.000
	total	.000	.000	.239
Surface d'habitation	Direct	.000	.000	-.234
	Indirect	.000	.000	.000
	total	.000	.000	-.234
Densité	Direct	.000	.000	.257
	Indirect	.000	.000	.000
	total	.000	.000	.257

b. Discussion des résultats

• Effet de l'âge

L'analyse par MES montre que le nombre de personnes âgées de plus de 60 ans ont un effet indirect négatif. Une augmentation d'une personne âgée de plus de 60 ans par ménage augmentera indirectement la consommation du gaz par personne par l'effet de densité de 0,207(20.7%) ($0,805 * 0,257$) soit 4.84 kwh/m².an.personne. Les résultats démontrent également que l'âge du ménage n'est pas lié à la surface de l'habitation, alors que les résultats montrent également que les ménages les plus âgés dans la wilaya de Djelfa sont principalement concentrés dans les zones les plus denses du département (corrélation de 0,805). L'âge moyen par ménage s'est révélé sans effet sur la consommation du gaz dans la wilaya de Djelfa.

• Effet du taux d'occupation par pièce (TOP)

Le nombre de personnes par pièce n'a pas d'impact direct sur la consommation de gaz par habitant. Alors que l'effet indirect du TOP est positif à travers la surface d'habitation avec une valeur de 0,174 ($-0,745 * -0,234$) soit une augmentation de 7.48 Kwh/m².an.personne. Aussi, il n'est pas surprenant que la surface d'habitation ait un impact direct et négatif sur le taux d'occupation des pièces (TOP) qui a tendance à baisser de -74.5%. Soit pour baisser d'une personne par pièce le TOP, il faudra ajouter 23 ,62 m² à l'habitation en question.

• Effet de taille du ménage (TOL)

La taille du ménage a un effet direct et positif sur la consommation de gaz par habitant (-0,493). Soit, pour chaque extra personne par ménage la consommation du gaz dans la wilaya de Djelfa diminue de -4.91 kwh/m².an et par personne. De plus, la taille du ménage a un effet indirecte et positif sur la consommation de gaz par habitant à travers la surface l'habitation d'une valeur de -0,245 ($1,047 * -0,234$), soit une baisse de -2,45 kwh/m².an pour chaque personne de plus. La taille des ménages a le plus grand impact sur la consommation de gaz par habitant dans le département de Djelfa. Une

augmentation d'une personne par ménage à tendance à réduire la consommation du gaz de -7.39 kwh/m².an.personne. Ce résultat revient souvent dans la littérature et encourage, selon Gramhanssen (2011) le *living together*. Entre autre, ce résultat suggère de proposer une augmentation du TOL dans la planification urbaine, mais il ne faut pas perdre de vue qu'un TOL élevé est souvent synonyme d'un revenu faible, donc d'une vulnérabilité du moins énergétique qu'il serait judicieux de diagnostiquer.

- **Impact du niveau d'éducation**

Le niveau d'éducation a un effet négatif sur la consommation du gaz par habitant dans la wilaya de Djelfa, avec une valeur standardisée de 0,234 soit une augmentation de 3.11 kwh/m².an.personne pour chaque écart-type de plus dans le niveau d'éducation.

- **Impact de la surface des habitations**

De manière surprenante, la surface d'habitation a un effet positif (-0.234) sur la consommation du gaz par habitant dans la wilaya de Djelfa. Soit pour chaque mètre carré de plus la consommation du gaz diminue de -0.32 kwh/m².an.personne. Ce résultat pourrait s'expliquer à partir de l'ACP (figure 5-10) où l'on peut facilement observer une concentration des habitations ayant la plus grande surface dans la zone aride et les zones dispersées où le nombre de ménages raccordés au réseau gazier est le plus faible. En d'autres termes, il est possible que les ménages situés dans la zone aride vivent une situation de vulnérabilité énergétique ou ils utilisent d'autres ressources, telles que les bouteilles de gaz pour chauffer et cuisiner ce qui explique cette logique inversée.

- **Impact de la densité de population**

La densité de population dans la wilaya de Djelfa est directement et positivement corrélée avec la consommation du gaz avec une valeur de 0.257 par écart type soit une augmentation de 2.47 Kwh/m².an et par personne pour chaque 100 hab/km² de plus par commune.

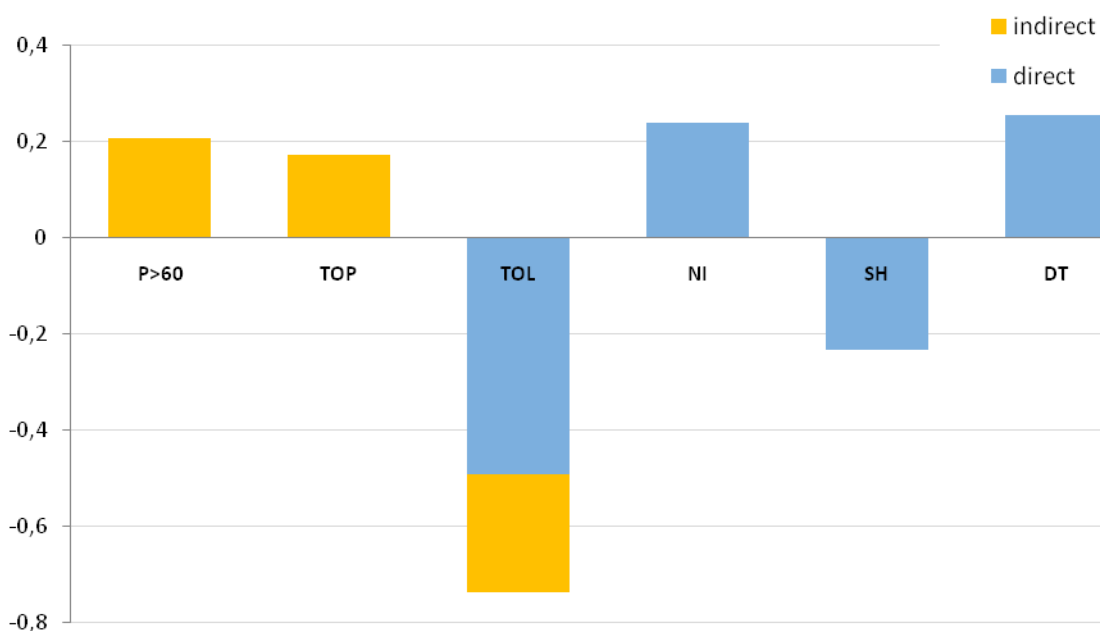


Fig 5- 14 : Effet direct et indirect des variables sur la consommation du gaz. Avec: TOL: taille des ménages, NI: niveau d'instruction, TOP: taux d'occupation des pièces, P>60: personne âgée plus de 60 ans, DT: Densité, SH: surface d'habitation.
Source : S.Boukarta

5.2.4.2. Modélisation d'équation structurelle de la consommation d'électricité

a. Indices d'ajustement

Le tableau ci-dessous montre que le modèle de consommation de l'électricité satisfait tous les indices d'ajustement et la figure ci-dessous montre l'impact direct des variables sur la consommation d'électricité par habitant. Les pistes de causalité présentées sont toutes significatives à des niveaux inférieurs à 0,001, 0,05 et 0,08, comme indiqué dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5- 9 :Modèle d'électricité

	df	χ^2	Niveau de probabilité	RMSEA	NFI	CFI
Modèle d'électricité	11	6.352	0.849	0.057	0.980	1.000

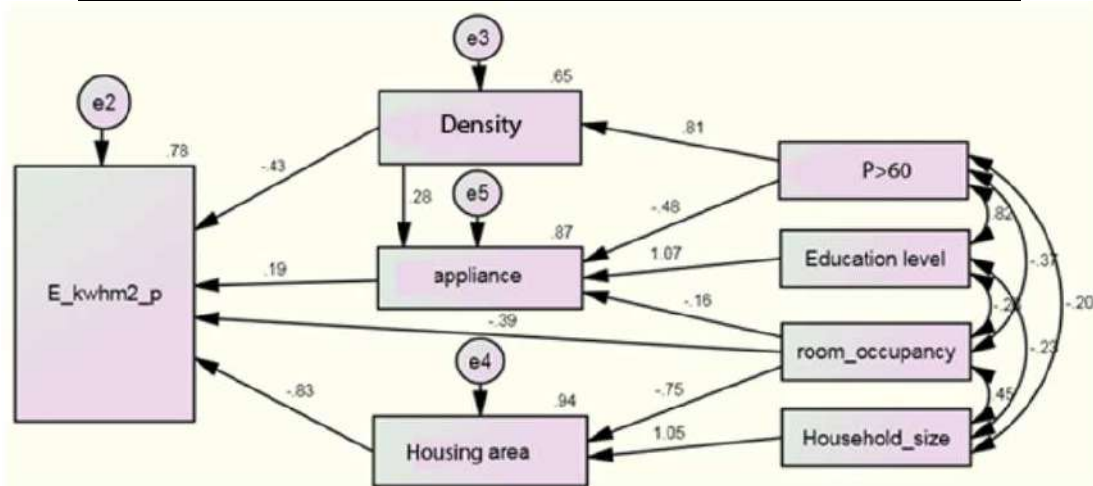


Fig 5- 15 : Effet direct standardisé pour la consommation de l'électricité (kwh/personne.m².a). Source : S.Boukarta

Tableau 5- 10: Piste de causalité : impact direct des variables explicatives. Source : S.Boukarta

Variables		Variables	Estimation (B)	P
Densité	<---	Personne>60 ans	.805	***
taux d'équipement	<---	densité	.275	.008**
taux d'équipement	<---	TOP	-.163	.014**
taux d'équipement	<---	niveau d'instruction	1.070	***
taux d'équipement	<---	Personne>60 ans	-.480	***
Surface d'habitation	<---	TOP	-.745	***
Surface d'habitation	<---	TOL	1.047	***
Electricité (kwh/m².p)	<---	Surface d'habitation	-.829	***
Electricité (kwh/m².p)	<---	Densité	-.430	***
Electricité (kwh/m².p)	<---	taux d'équipement	.194	.071*
Electricité (kwh/m².p)	<---	TOP	-.395	***

***significatif au niveau 0.001

** significatif au niveau 0.05

* significatif au niveau 0.08

Tableau 5- 11 : Effet direct, indirect et total sur la consommation de l'électricité.

Variables	Effet	Densité	Taux d'équipement	Surface	Electricité (kwh/m².a.pers)
Taille des ménages	Direct	.000	.000	1.047	.000
	indirect	.000	.000	.000	-.868
	total	.000	.000	1.047	-.868
Niveau d'instruction	Direct	.000	1.070	.000	.000
	indirect	.000	.000	.000	.207
	total	.000	1.070	.000	.207
Taux d'occupation par ménage	Direct	.000	-.163	-.745	-.395
	indirect	.000	.000	.000	.586
	total	.000	-.163	-.745	.192

Personne âgée de plus de 60 ans.	Direct	.805	-.480	.000	.000
	indirect	.000	.222	.000	-.396
	total	.805	-.259	.000	-.396
Densité	Direct	.000	.275	.000	-.430
	indirect	.000	.000	.000	.053
	total	.000	.275	.000	-.376
Taux d'équipement	Direct	.000	.000	.000	.194
	indirect	.000	.000	.000	.000
	total	.000	.000	.000	.194
Surface d'habitation	Direct	.000	.000	.000	-.829
	indirect	.000	.000	.000	.000
	total	.000	.000	.000	-.829

b. Discussion des résultats

• Impact de la taille du ménage

L'impact de la taille des ménages est également le plus important pour la consommation de l'électricité. Son impact est aussi positif et il n'est que indirect avec de -0,86 à travers la surface de l'habitation ($1,047 * -0,829$), soit pour chaque membre de plus par ménage, la consommation de l'électricité diminue de $-0.94 \text{ kwh/m}^2.\text{an.personne}$. Cela pourrait s'expliquer par le faible taux d'équipement des ménages ayant le taux d'occupation par logement (TOL) le plus important et par des habitations à grande surface. Selon l'ACP, la plupart de ce type de ménages se situe dans la zone aride. Aussi, le phénomène de partage des appareils électriques entre les membres des ménages peut expliquer cette réduction (Gram-hanssen : 2011).

• Impact du niveau d'éducation

Une augmentation du niveau d'éducation dans les ménages augmentera le taux d'équipement en appareil électrique, ce qui induit une plus grande consommation d'électricité par habitant. Dans la wilaya de Djelfa, le niveau d'éducation impacte indirectement la consommation de l'électricité par 0.207 à travers la possession des appareils ménager ($1.07*0.19$). Soit, pour chaque écart type de plus dans le niveau d'éducation, la consommation de l'électricité augmentera de $0.13 \text{ kwh/m}^2.\text{an.personne}$.

• Impact du taux d'occupation par pièce (TOP)

Le nombre de personnes par pièce impacte directement et négativement la consommation d'électricité ($-.395$) ce qui se traduit par une diminution de $-1.86 \text{ kwh/m}^2.\text{an.personne}$. Cette diminution pourrait s'expliquer par le faible taux d'équipement par ménage et/ou par le partage d'appareils entre les membres de la famille (Graham-hanson : 2011). L'impact indirect génère plus de consommation à travers la possession des appareils électriques et la surface de l'habitation ($0.163 * -0.194$ avec $-0.745 * -0.829$). Indirectement, pour chaque personne de plus par pièce, la consommation d'électricité augmentera de $2.75 \text{ Kwh/m}^2.\text{an.personne}$. L'impact total du taux d'occupation par pièce s'élève à $0.89 \text{ Kwh/m}^2.\text{personne.an}$.

• Impact de l'âge sur la consommation de l'électricité

L'augmentation du nombre de personnes âgées de plus de 60 ans a un effet positif indirect sur la consommation d'électricité à travers le taux d'équipement ($-0,48 * 0,19$), et de la densité ($0,81 * -$

0,43), soit une diminution de $-1.01 \text{ kwh/m}^2.\text{an}$ pour chaque personne. Les personnes âgées ont tendance à moins s'équiper d'appareils électriques et elles se concentrent principalement dans les communes les plus denses.

• Impact de la densité de population

La densité de la population a un effet positif direct sur la consommation d'électricité par habitant ($-0,43$), soit une réduction de $-0.63 \text{ Kwh/m}^2.\text{an.personne}$ pour chaque $3.54 \text{ habitant/km}^2$ de densité de plus. Cette réduction peut être expliquée par le fait que la densité est associée à des faibles surfaces d'habitation et à la réduction de rayonnement solaire due au rapprochement des habitations. Cette même densité ($3.54 \text{ habitant/km}^2$) génère une faible augmentation estimée à près de $0,0532$ soit $0.077 \text{ kwh/m}^2.\text{p.an}$ d'électricité consommée à travers le taux d'équipement. Les zones les plus denses sont les plus équipées en termes d'espace de vente d'appareils électroménagers. L'impact total de la densité de population s'élève alors à -0.376 , soit une diminution de la consommation de $-0,397 \text{ kwh/m}^2.\text{an.personne}$ pour chaque densité de 100 hab/km^2 de plus.

• Impact du taux d'équipement

Intuitivement, le taux d'équipement (TV, réfrigérateur, climatiseur et machine à laver) par ménage a un effet négatif sur la consommation d'électricité par habitant avec un impact estimé de $0,194$ soit une augmentation de $0.33 \text{ kwh/m}^2.\text{p.an}$ pour chaque 10% de taux d'équipement de plus.

• Impact de la surface d'habitation

Aussi, dans la wilaya de Djelfa, et de même que pour le Gaz, l'impact de la surface de l'habitation affecte négativement et directement la consommation d'électricité par habitant. Il a le deuxième plus important impact après la taille des ménages avec une valeur de -0.829 par écart type soit une réduction de $-0.123 \text{ kwh/m}^2.\text{an.personne}$. Ce résultat à logique inversée pourrait s'expliquer par le fait que les habitations les plus grandes en termes de surface sont également concentrées dans la zone aride et dispersées avec un taux de raccordement plus faible au réseau électrique et ce type d'habitation pourrait utiliser d'autres sources d'énergie indépendantes, comme le mazout ou diesel. La seconde explication pourrait être rapportée au revenu que nous n'avons pas exploré dans cette partie de l'analyse car c'est une donnée absente dans le RGPH de 2008. La troisième explication pourrait être rapportée à la surface utile par habitation qui semble être réduite dans les habitations à grande surface dans la wilaya de Djelfa.

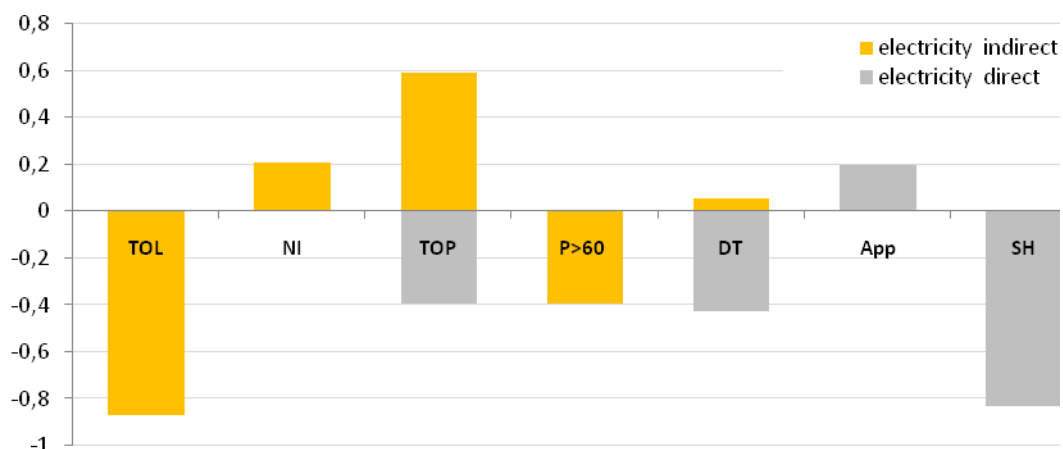


Fig 5- 16 : Effet direct, indirect et total des variables sur la consommation de l'électricité. Avec: TOL: taux d'occupation par logement, NI: niveau d'instruction, TOP: Taux d'occupation par chambre, P>60: personne âgée de plus de 60 ans, DT: Densité, App: Taux d'équipement, SH: surface d'habitation Source : S.Boukarta

5.3. Synthèse des constats relatifs à l'échelle de la commune

Dans cette première partie du chapitre, la batterie des variables explicatives a été sélectionnée selon la disponibilité des données à l'échelle des communes et sur la base et du modèle analytique arrêté dans la synthèse du chapitre précédent. Des analyses de sensibilité ont été réalisées pour expliquer la variation de la consommation de l'électricité et du gaz des ménages dans la wilaya de Djelfa. Premièrement, selon l'analyse de l'ACP, nous avons regroupé les communes en fonction de : leur étage climatique ; de la distribution de la population, des caractéristiques socio-économiques des ménages et des caractéristiques des habitations. Le diagnostic de l'ACP effectuée indique la présence de corrélations potentielles et sur la base desquelles **quatre profils énergétiques ont été identifiés à l'échelle des communes** : communes consommant plus d'énergie à l'échelle de la commune et à l'échelle des habitations ; communes consommant plus à l'échelle de la commune et moins à l'échelle des habitations ; communes consommant moins d'énergie à l'échelle de la commune et celle des habitations et communes consommant moins d'énergie à l'échelle de la commune et plus à l'échelle des habitations. Nous avons confirmé sur la base des corrélations bi-variées, et discuté les résultats selon la littérature scientifique. Enfin, pour pouvoir évaluer l'impact des variables sélectionnées, une analyse de pistes de causalité a été conduite à travers des MES. Les MES nous ont permis de sélectionner les variables significatives seulement dans le modèle. L'âge et le type du bâtiment qu'on a choisis comme variables proxy de la qualité de l'enveloppe se sont révélés sans effet significatif dans la MES. Sept variables expliquent la consommation de l'électricité et du Gaz dans la wilaya de Djelfa à l'échelle des communes, (voir figure 5-17 ci-dessous).

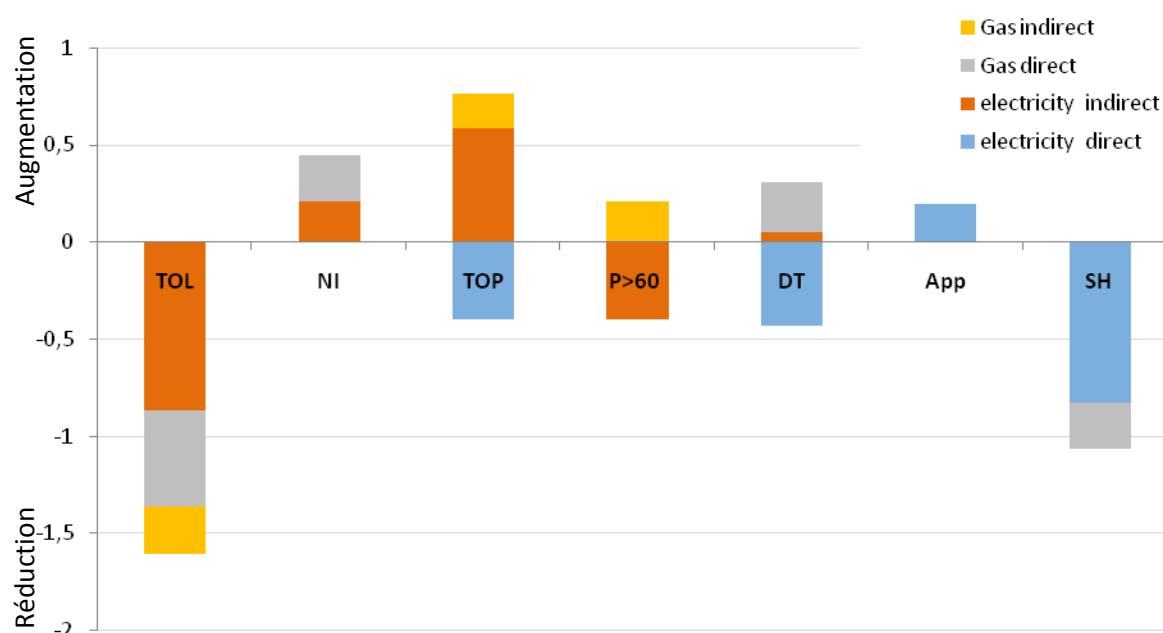


Fig 5- 17 : Effet direct, indirect et total des variables sur la consommation du gaz et de l'électricité à l'échelle des communes de la wilaya de Djelfa. Avec: TOL: taux d'occupation par logement, NI: niveau d'instruction, TOP: Taux d'occupation par pièce, P>60: personne âgée de plus de 60 ans, DT: Densité, App: Taux d'équipement, SH: surface d'habitation. Source : S. Boukarta

L'impact global de toutes ces variables indique que l'augmentation de la taille des ménages est le premier facteur réduisant la consommation d'électricité et de gaz, suivie par la surface du logement et la densité de population, l'occupation des chambres et les ménages plus âgés. En outre, le niveau d'instruction et la densité de population ont, respectivement, un effet négatif puisque ils

augmentent la consommation, direct et indirect, sur la consommation de gaz et d'électricité par habitant. L'augmentation de l'occupation des chambres a un impact indirect sur la consommation de gaz et d'électricité, tandis que les ménages les plus âgés augmentent indirectement la consommation de gaz. Dans les MES, l'impact de la possession de la cuisinière n'a pas d'impact significatif sur la consommation de gaz tandis que la possession des autres appareils électroménagers (TV, climatiseur, réfrigérateur et machine à laver) a un impact direct significatif sur la consommation d'électricité par habitant.

La limite principale dans cette étude réside dans la non-disponibilité de données, tels que le revenu et les sources d'énergie utilisées par les ménages dans les zones les moins raccordées aux réseaux du gaz et de l'électricité. C'est pourquoi il nous semble que la forme urbaine approchée à travers les déterminants théoriquement pertinents n'est pas forcément significative pour effectuer des constats sûrs relatifs au potentiel de l'économie d'énergie en zone semi-aride.

Etant donné que les variables liées aux caractéristiques des bâtiments (âge et types des habitations) se sont révélées sans effets à travers les deux modélisations d'équation structurelles établies à cause de la faible variation de système constructif dans la wilaya de Djelfa. Dans la deuxième partie du présent chapitre, les variables explicatives liées à l'environnement bâti seront considérées à l'échelle du bâtiment tout en fixant le rôle de l'occupant. Ceci nous permettra dans un premier temps, d'estimer les variations énergétiques potentielles qui peuvent être générées par l'environnement bâti, et dans un second temps, il nous sera possible de comparer l'impact des deux registres et répondre à notre question : lequel des deux registres, l'occupant ou le bâtiment, est le plus important dans la problématique de maîtrise de l'énergie.

SECTION 5B.

POTENTIEL DE MAITRISE DE L'ENERGIE A L'ECHELLE DU BATIMENT A DJELFA

Dans cette section du chapitre, les paramètres tendant à réduire la demande énergétique des bâtiments à vocation résidentielle sont étudiés. Comme indiqué *supra*, pour apprécier l'impact des variations paramétriques, nous avons choisi de fixer l'impact de l'occupant en l'introduisant une fois dans le modèle sans varier son occupation de l'espace résidentiel. L'étage climatique considéré est le semi-aride pour les considérations déjà citées précédemment. Le choix de porter notre attention à l'échelle du bâtiment se trouve justifié par le fait que les variables *proxy* utilisées dans la section précédente pour décrire les bâtiments résidentiels se sont révélées sans effet significatif dans l'analyse de sensibilité. Nous voulons vérifier cet état de fait.

5.4. Méthode d'identification du potentiel de maîtrise d'énergie des paramètres liés aux bâtiments

La méthode adoptée est structurée en 5 étapes. **La première étape** présente le cadre d'analyse en reprenant les conditions climatiques de la région semi-aride et présente les déterminants explicatifs potentiels identifiés dans le chapitre 3, qui tendent à maîtriser la demande énergétique à travers le potentiel d'économie d'énergie que présente chaque variable. Un modèle générique (*Design Of Experiment DOE*) est adopté représentant la configuration spatiale d'un habitat type. Enfin un protocole de simulation est établi en s'appuyant sur une variation paramétrique appliquée à ce modèle générique, afin de pouvoir analyser la sensibilité de la demande énergétique du modèle considéré sous l'optique de ces variations paramétriques.

La deuxième étape consiste à lancer une série de 100 simulations sous PLEIADE+COMFIE afin d'obtenir la demande énergétique découlant de la variation paramétrique arrêtée dans le protocole de simulation et appliqué au modèle générique. Les *outputs* obtenus sont le besoin en chaud, en froid et le besoin total exprimé en kwh/m².an.

Dans **la troisième étape**, la demande énergétique ainsi que la variation paramétrique des 100 cas de figures sont introduites dans SPSS afin de lancer les analyses de sensibilité permettant d'identifier l'impact de chaque variable dans le modèle. Pour améliorer l'ajustement du modèle et avoir plus de précision dans la phase modélisation, nous avons procédé à un ajustement de l'échantillonnage suivant la distance de Cook et la nature des variables. L'ajustement final nous a donné un modèle comprenant 84 cas de figure avec une distribution harmonieuse des variables dans le modèle.

Une fois la gestion des données réalisée, **la quatrième étape** tend à identifier l'importance de chaque paramètre dans le modèle. Pour ce faire, trois analyses de sensibilité sont alors lancées, une analyse de corrélation bi-variée, une analyse en composante principale et enfin une analyse des pistes de causalité conduite par une modélisation d'équation structurelle. Les trois analyses nous ont permis d'identifier les corrélations potentielles dans un premier temps et d'identifier l'impact de chaque variable retenue sur la demande énergétique.

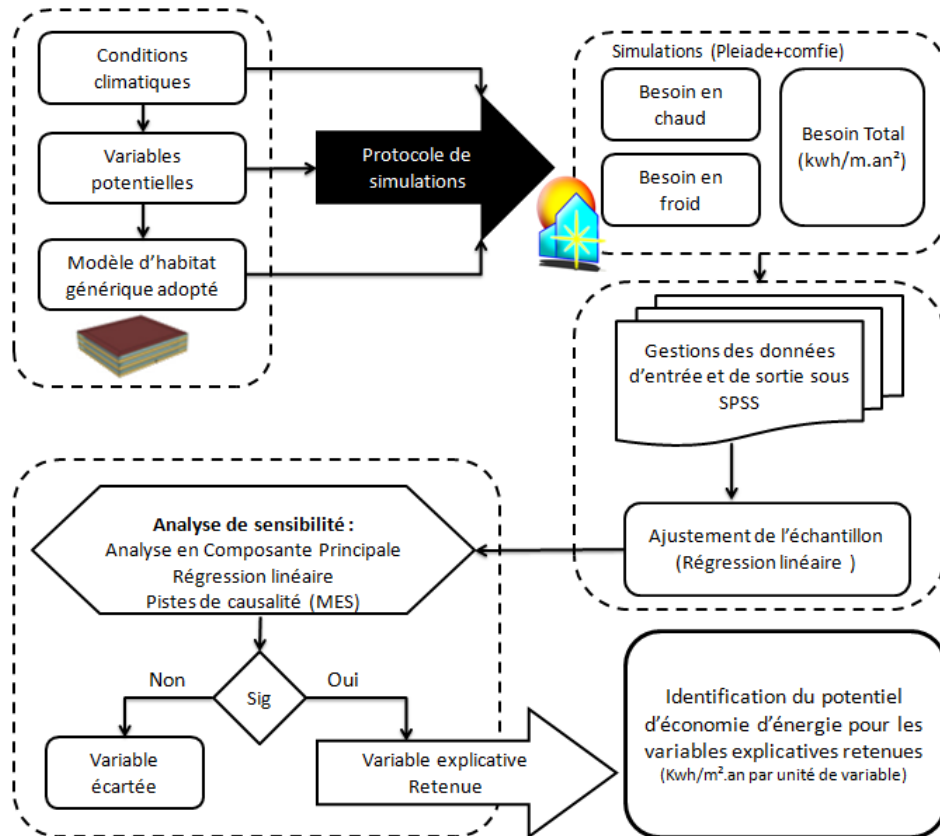


Fig 5- 18 : Etapes de la méthode adoptée. Source : S.Boukarta

5.4.1. Présentation des données climatiques de la région semi-aride

Le quotient pluviométrique d'Emberger⁶⁶ ($Q = 50.47$ et $m = 4.5^{\circ}\text{C}$) confirme que la ville de Djelfa se trouve dans la zone semi-aride, qui se caractérise globalement par un climat chaud et sec en été et froid et sec en hiver. Le HDD_{20} et le CDD_{27} selon une plage de confort de $20\text{--}27^{\circ}$ (DTR C3.2 et C3.4 : 2004) sont respectivement de 2216 et 265°C dans la commune chef-lieu de Djelfa⁶⁷. La température moyenne mensuelle en hiver est d'environ $6,5^{\circ}\text{C}$ avec un minimum de -4°C . La température moyenne mensuelle en été est d'environ 28°C avec un maximum de 42° (voir fig.2 ci-dessous).

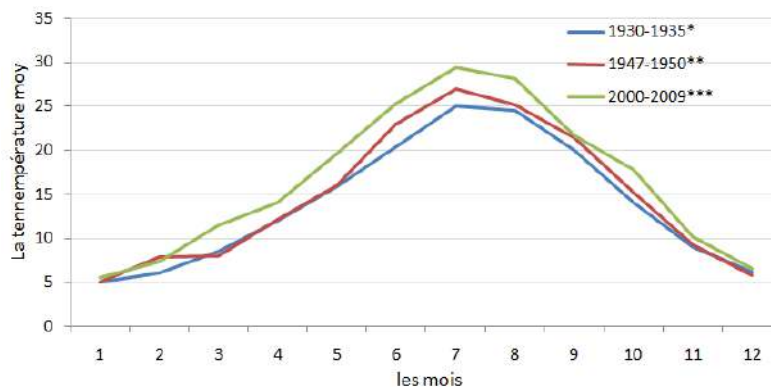


Fig 5- 19 : Variation de la température moyenne entre 1930 et 2004. Sources: adapté par S.Boukarta à partir de : *, ** De Villaret (1995) et *** Meteonorm (V7).

⁶⁶ $Q = 3.43 \cdot P / M + m$, ou P est la somme des précipitations annuelles, M est la température moyenne maximale et m est la température moyenne minimale. La projection se fait sur le climagramme de la valeur Q et m pour identifier l'étage climatique de la ville considérée.

⁶⁷ Calculé par Ecotect (2011) à partir des données climatiques (2000-2009) de la ville de Djelfa obtenues de Meteonorm.

Tableau 5- 12 : les conditions climatiques de la ville de Djelfa. Source : * meteonorm et ** Climate consultant à partir des données de meteonorm.

Humidité relative journalière (2000-2009) ** L'humidité relative moyenne varie de 80% pendant l'hiver (Janvier et décembre) et baisse jusqu'à moins de 30% durant l'été	Quantité et nombre de jour de précipitation * la pluviométrie est faible le long de l'année, tendancielle en hiver, Janvier, février et décembre avec des valeurs n'atteignant pas les 40 mm en moyenne par mois.	Rayonnement diffus et global (1991-2010)* Le rayonnement global de la ville de Djelfa est moyennement élevé et estimé à près de 1980 kwh/m².an avec un rayonnement diffus total de 556 Kwh/m².an
Durée moyenne d'ensoleillement par mois * La durée moyenne d'ensoleillement journalier dans la ville de Djelfa dépend des saisons, en hivers, la durée est estimée à près de 6.5 h/jours, alors qu'en été la durée s'allonge à plus de 10 heures.	Rose des vents pour la saison hivernale ** La vitesse du vent a une vitesse moyenne variant de 4 à près de 6 m/s annuellement. La direction du vent dominante pendant la saison d'hiver est le sud-ouest alors que pendant l'été le vent dominant vient de la direction nord, nord-est et Est	La rose des vents pour la saison estivale **

La variation de température entre 1930 et 2009 ne prend en compte que la commune de Djelfa, chef-lieu de la wilaya. Ce graphe montre une nette augmentation de la température avec une moyenne de 2,53 ° sur la période considérée. Cette augmentation pourrait s'expliquer par le phénomène du réchauffement climatique.

Le diagramme psychrométrique de Szokolay établi pour des températures neutres adaptées à la zone d'étude⁶⁸ indique que les stratégies passives ont un potentiel d'amélioration du confort hygrothermique pouvant atteindre les 66% sans avoir recours au chauffage et à la climatisation conventionnels (voir diagramme ci-dessous). La charge de climatisation est négligeable (0.6%) devant la charge nécessaire pour le chauffage (33.4%).

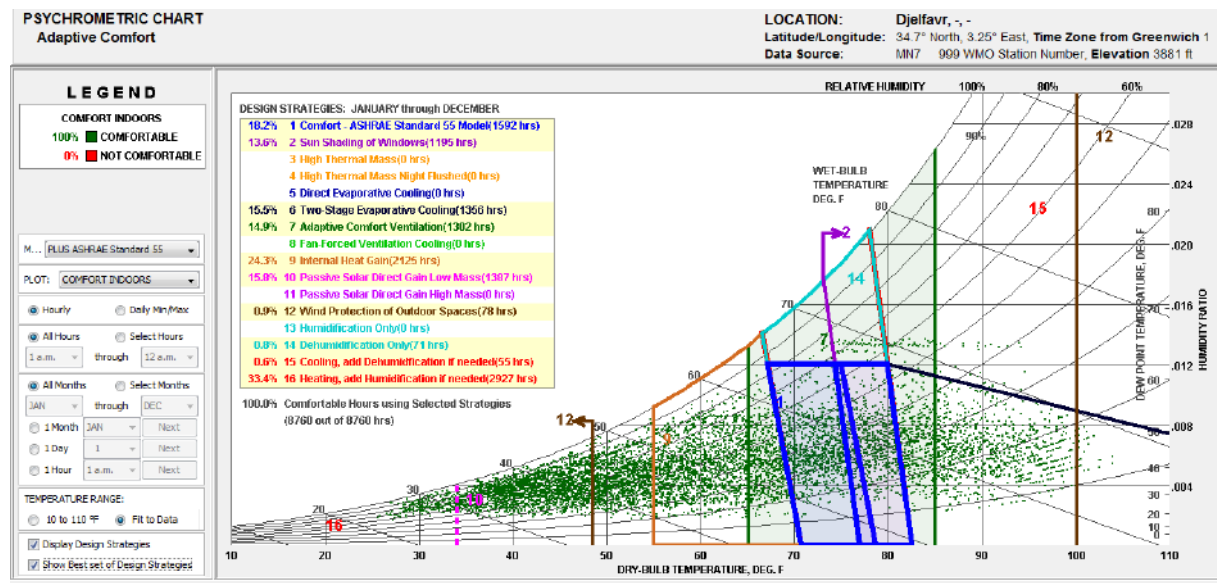


Fig 5- 20 : Digrame de Szokolay pour un confort adaptatif.Source : Climate consultant.

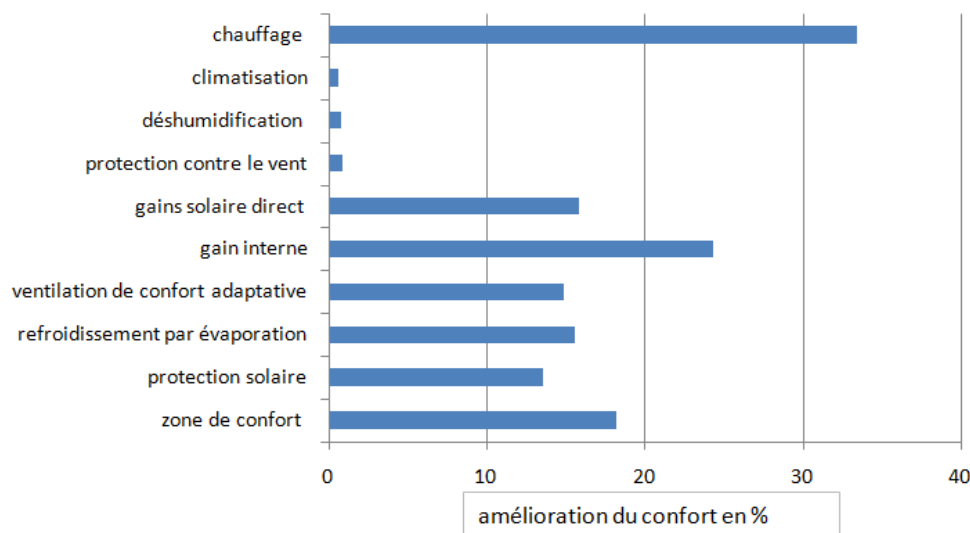


Fig 5- 21 : Améliorations potentielles du confort hygrothermique par les stratégies passibles. Source : Adapté par Boukarta à partir des résultats obtenus de Climate consultant.

⁶⁸ La température neutre du confort est considérée, selon Szokolay, comme liée à la température moyenne extérieure. Elle se calcule par la formule suivante : $T_n = 17,6 + (0,31 \times T_m)$ (Semahi : 2013)

Les stratégies passives présentées dans le graphe ci-dessus réalisé à partir du diagramme psychométrique montrent clairement le rôle que peut jouer un occupant dans l'amélioration des conditions du confort hygrothermique de son habitation. Le diagramme psychométrique permet d'avoir les grandes orientations passives pouvant réduire la demande énergétique des bâtiments, mais sans trop de précision. Dans la partie qui suit nous présenterons le modèle générique représentant une habitation-type et sur laquelle on appliquera une série de campagne de 100 simulations réalisées à partir des variations paramétriques afin d'évaluer, avec plus de précision, l'impact des variables physiques et géométriques caractérisant une habitation et que les architectes ont tendance à utiliser sans trop de maîtrise.

5.4.2. Présentation du modèle générique

Notre déplacement du centre du pays vers le Sud nous a interpellés en termes de présence d'un type d'habitat qui semble se propager sur tout le territoire national. Nous avons choisi un modèle générique tel que présenté dans la figure 5-22 car l'identification des types d'habitation dans la ville de Djelfa nous a montré l'importance de ce type dans l'urbanisation de la ville de Djelfa. La variation paramétrique appliquée au modèle peut aussi élargir l'éventail de la représentation typologique des habitations de la ville de Djelfa, qui se caractérise par une organisation spatiale autour d'un hall d'entrée suivi d'un couloir de circulation. Aussi, globalement l'agencement intérieur des espaces se fait selon le principe qui veut que les espaces humides (Cuisine, SDB et WC) et secs (Séjour et chambres) soient regroupés (Voir plan et image 3D ci-dessous).

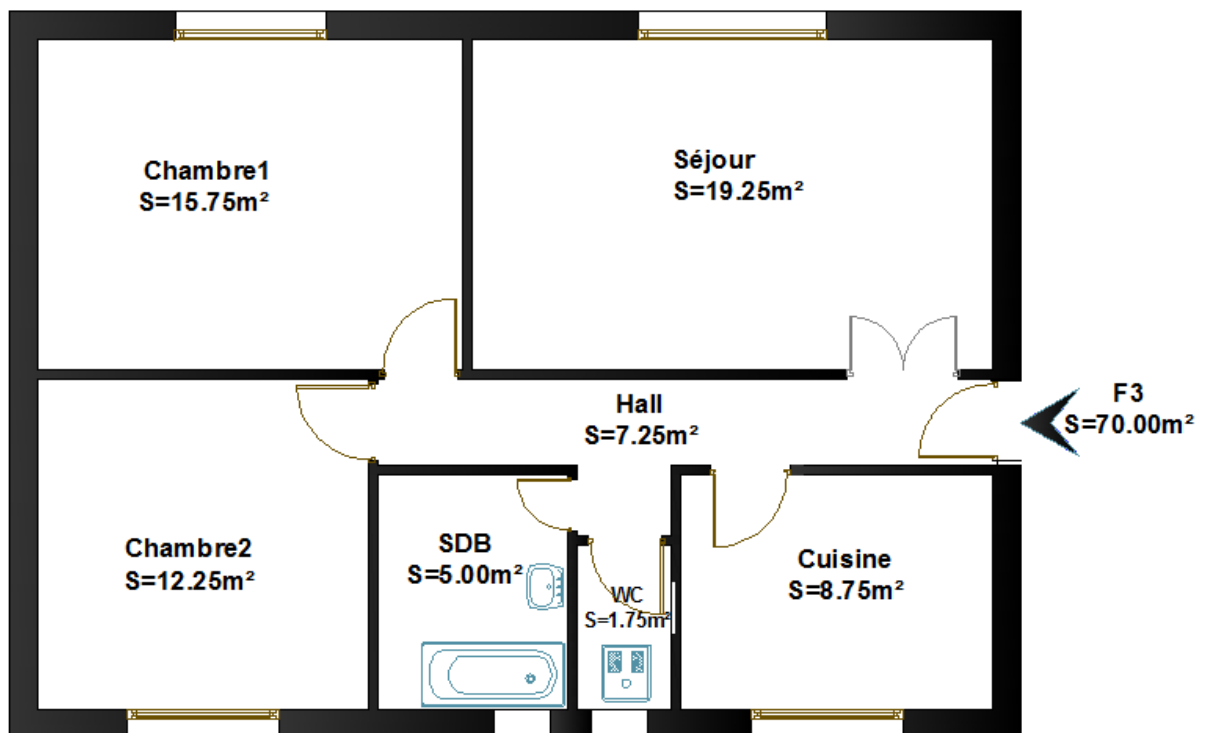


Fig 5- 22 : Plan du modèle générique adopté. Source : S.Boukarta

Le plan montre une habitation de type F3 d'une superficie de 70 m² composée de deux chambres, séjour, cuisine et une salle de bain et toilette. Sur ce modèle on a appliqué les variations paramétriques caractérisant le bâtiment présentée dans la section qui suit.

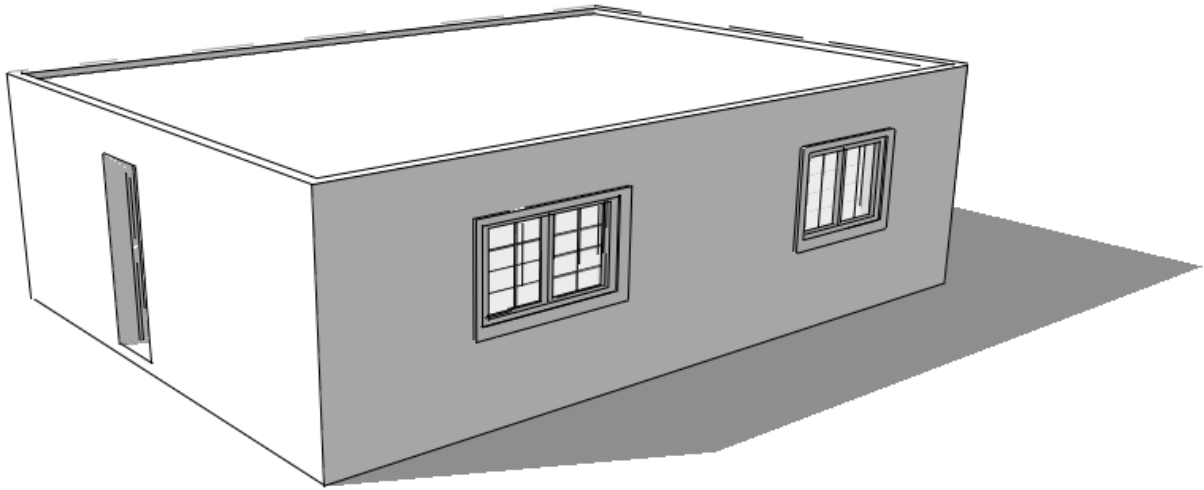


Fig 5- 23 : Image 3 D du modèle générique.

Nous avons choisi un modèle de forme pure, simple, parallélépipédique, sans décrochement, afin de réduire l'impact de la forme au seul facteur de compacité (volume/surface déperditive).

5.4.3. Variables potentielles liées aux bâtiments et variation paramétrique

Comme indiqué dans le chapitre 3, les paramètres influençant la demande énergétique considérés à l'échelle du bâtiment sont des paramètres liés à l'environnement, à la forme et à l'enveloppe. Nous avons sélectionné les paramètres les plus récurrents dans la conception architecturale par les architectes. Les variables explicatives potentielles sont présentées dans le tableau ci-dessous.

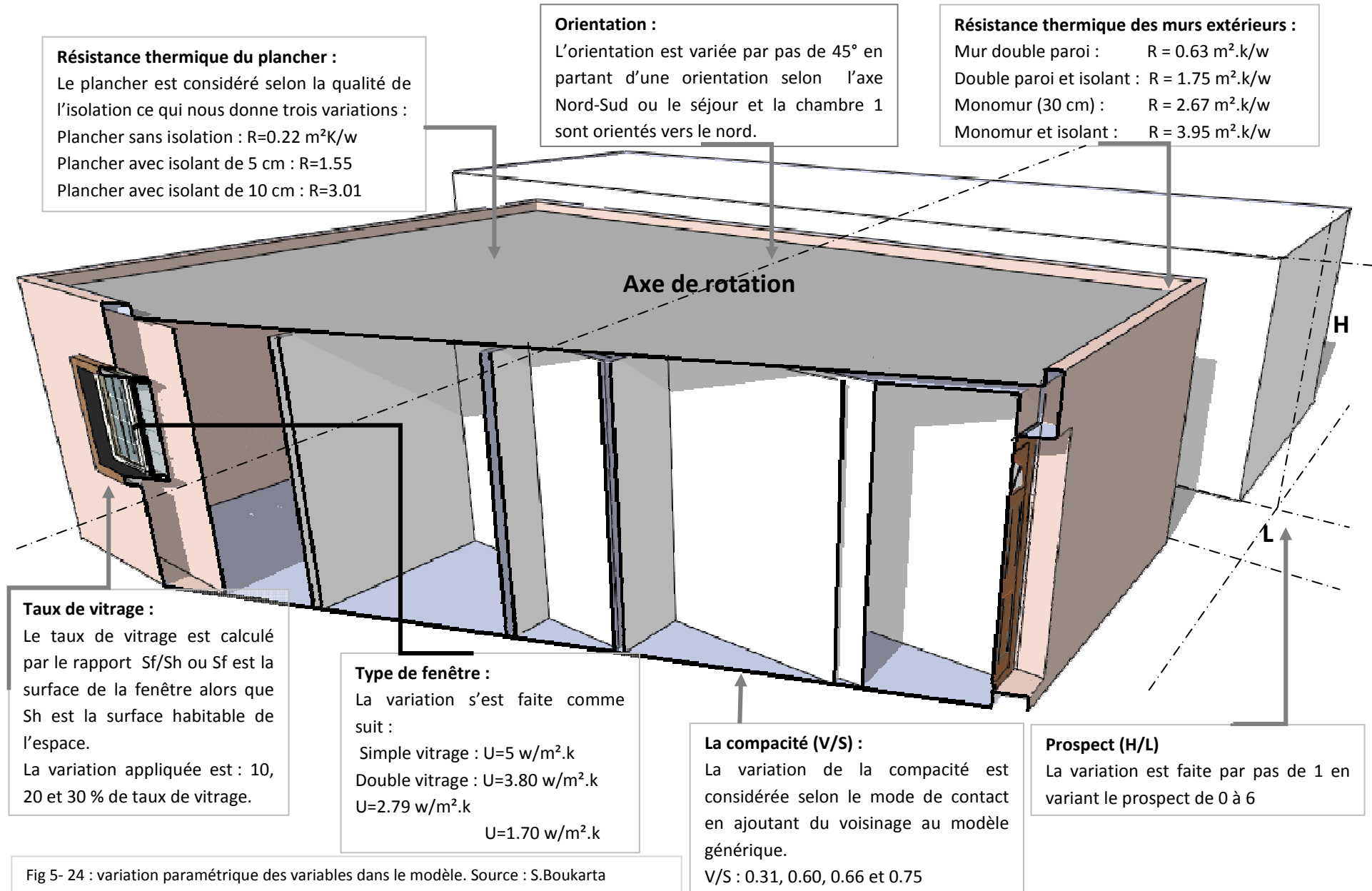
Tableau 5- 13 : Variables considérées dans le modèle.

Registres	Variables
Environnement	1. Prospect : calculé par le rapport H/L.
	2. Orientation de l'habitation.
Forme	3. La compacité calculée par la formule V/S.
Enveloppe	4. Résistance des murs extérieurs.
	5. Résistance du plancher
	6. Résistance des ouvertures
	7. Taux de vitrage

5.4.4. Variation paramétrique

La variation paramétrique appliquée sur chaque variable est réalisée de la sorte qu'il y ait toujours une variation de la valeur allant du minimum au maximum en passant par des valeurs moyennes. Ce qui donne en moyenne 3 variations par paramètre. D'autres paramètres auraient pu être considérés dans la présente étude, à savoir les variables ayant un impact potentiel sur le microclimat comme le taux des espaces verts, taux de minéralisation, etc. Malgré l'effort d'identification d'un échantillonnage représentatif à l'échelle de l'îlot comprenant une variation paramétrique plus riche (voir annexe E), ces paramètres n'ont pas pu être considérés à cause de la difficulté d'accès aux données de consommation.

La figure ci-dessous synthétise la variation paramétrique appliquée au modèle générique.



Les murs intérieurs et le profil d'occupation de l'habitation modèle n'ont pas subi de variation dans le protocole de simulation. La ventilation naturelle est aussi fixée à une valeur de 0.6 v/h.

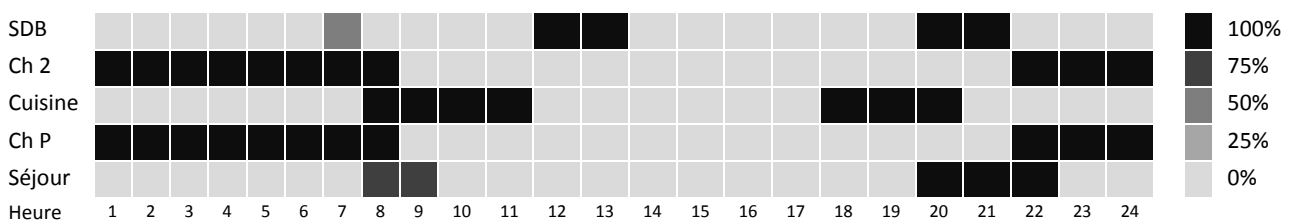
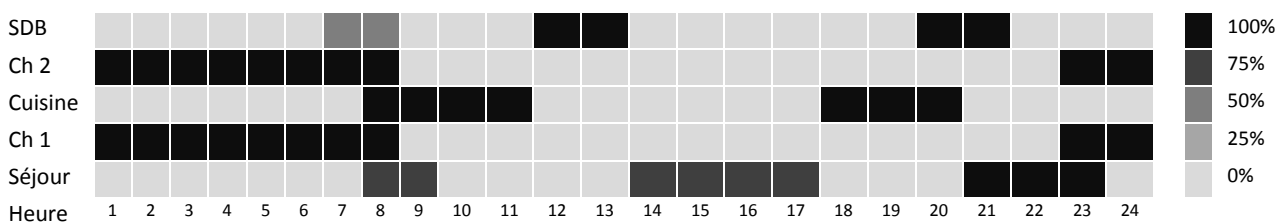
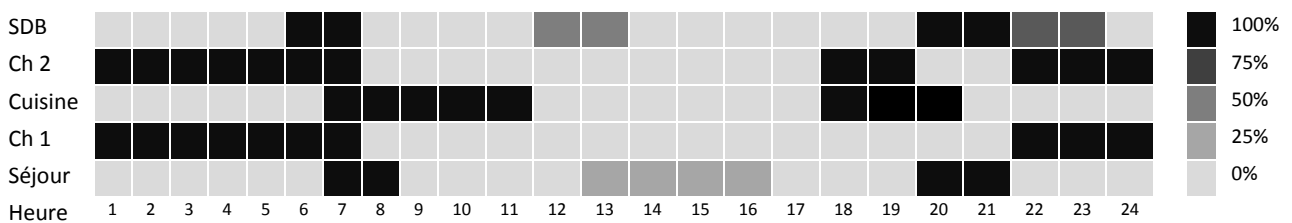
Tableau 5- 14 : Eléments invariables du modèle. Source : S.Boukarta

Eléments	Valeur (unité)
Porte extérieure	0.2 (m ² .k/w)
Mur intérieur (10 cm)	0.2 (m ² .k/w)
Ventilation naturelle	0.6 (vol/H)
Puissance dissipée par personne	80 (w/personne)
Pont thermique	0.2*périmètre (introduit automatiquement).

Le profil d'occupation que nous avons appliqué suit la logique d'occupation d'un ménage type composé de quatre personnes. Selon les jours de la semaine, trois types d'occupation sont appliqués au modèle, une occupation pendant les journées ouvrables, une occupation pendant le vendredi et enfin une occupation de l'habitation pendant le samedi. Voir les figures et le tableau ci-dessous :

Tableau 5- 15 : Occupation maximale par zone et affectation du besoin de chauffage et climatisation. Source : S.Boukarta

Zone	Nombre Max D'occupants (100%)	Chauffage (20°)	Climatisation (27°)
Séjour	04	Oui	Oui
Chambre parents	02	Oui	Oui
Chambre d enfants	02	Oui	Oui
Cuisine	01	Oui	Non
SDB	02	Oui	Non
WC	Négligeable	non	Non
Couloir	Négligeable	Oui	Non



5.4.5. Protocole de simulation et résultats de la simulation thermique dynamique

Une fois le modèle générique et les variables explicatives potentielles arrêtés, nous avons développé par tirage aléatoire 100 combinaisons à partir des sept variables. Le protocole de simulation ainsi que les besoin en chauffage, climatisation et le besoin total sont synthétisés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5- 16 : Protocole de simulation et résultat des simulations. Source : S.Boukarta

Cas	Prospt	Compacité	Taux vitrage	Uf	Orientn	Mur	Plancher	Chauf	clim	Total
1	0	0.6	10	5	0	0.63	1.55	104.56	61.07	165.63
2	0	0.6	20	2.79	0	1.75	3.01	39.29	37.90	77.19
3	0	0.66	30	2.79	45	1.75	1.55	45.90	60.17	106.07
4	0	0.66	20	0.72	90	2.67	3.01	31.33	35.44	66.77
5	0	0.31	10	3.8	135	3.95	3.01	36.47	41.17	77.64
6	0	0.31	30	3.8	225	2.67	0.22	42.23	65.11	107.34
7	0	0.66	30	5	45	2.67	3.01	44.10	66.27	110.37
8	0	0.75	10	1.7	270	3.95	1.55	31.36	44.71	76.07
9	0	0.31	30	0.72	315	1.75	0.22	45.29	49.99	95.27
10	0	0.75	20	0.72	180	0.63	1.55	58.61	39.66	98.27
11	1	0.6	10	5	0	0.63	1.55	104.56	61.07	165.63
12	1	0.6	30	3.8	45	1.75	1.55	44.11	44.21	88.33
13	1	0.75	20	0.72	180	3.95	3.01	26.56	30.83	57.39
14	1	0.66	30	1.7	225	2.67	1.55	23.93	60.29	84.21
15	1	0.66	10	3.8	90	1.75	3.01	49.67	50.10	99.77
16	1	0.31	20	5	315	3.95	0.22	53.93	58.84	112.77
17	1	0.31	10	2.79	135	0.63	0.22	93.57	60.43	154.00
18	1	0.75	10	3.8	270	2.67	3.01	31.07	44.97	76.04
19	1	0.66	20	0.72	0	3.95	1.55	36.19	27.80	63.99
20	1	0.6	20	1.7	270	1.75	1.55	36.56	56.06	92.61
21	2	0.6	10	5	0	0.63	3.01	104.56	61.07	165.07
22	2	0.6	20	3.8	315	2.67	1.55	31.80	48.10	79.90
23	2	0.75	20	2.79	90	1.75	1.55	40.53	56.89	97.41
24	2	0.75	30	0.72	45	2.67	3.01	20.19	39.53	59.71
25	2	0.66	20	3.8	90	2.67	1.55	37.03	55.26	92.29
26	2	0.66	30	0.72	180	3.95	3.01	26.84	36.07	62.91
27	2	0.31	30	5	270	1.75	0.22	63.14	90.51	153.66
28	2	0.31	10	1.7	225	1.75	0.22	63.14	90.51	153.66
29	2	0.6	20	0.72	90	1.75	1.55	37.43	41.00	78.43
30	2	0.31	30	3.8	0	3.95	0.22	49.51	43.33	92.84
31	3	0.31	20	0.72	270	1.75	0.22	49.60	47.34	96.94
32	3	0.6	10	5	0	0.63	3.01	104.56	61.07	165.63
33	3	0.6	30	1.7	45	1.75	1.55	32.13	50.13	82.26
34	3	0.75	20	3.8	270	2.67	3.01	31.96	58.63	90.59
35	3	0.75	10	2.79	180	1.75	1.55	38.39	36.14	74.53
36	3	0.66	20	0.72	225	0.63	3.01	27.76	35.13	62.89
37	3	0.66	30	1.7	90	0.63	1.55	83.00	91.03	174.03
38	3	0.31	10	3.8	135	3.95	0.22	49.74	43.16	92.90
39	3	0.75	30	5	315	1.75	3.01	49.23	81.11	130.34
40	3	0.66	10	3.8	0	2.67	1.55	33.60	29.23	62.83
41	4	0.6	30	2.79	180	3.95	3.01	31.03	36.49	67.51
42	4	0.6	10	5	0	0.63	1.55	104.56	61.07	165.63
43	4	0.75	20	0.72	90	1.75	3.01	35.81	43.67	79.49
44	4	0.75	10	1.7	225	2.67	1.55	24.39	36.13	60.51
45	4	0.66	30	0.72	45	1.75	3.01	37.37	46.30	83.67
46	4	0.66	20	3.8	315	3.95	1.55	42.69	53.39	96.07
47	4	0.31	20	1.7	270	2.67	0.22	36.80	52.27	89.07
48	4	0.31	10	0.72	180	0.63	0.22	88.54	47.27	135.81
49	4	0.6	20	1.7	315	1.75	1.55	33.29	39.79	73.07
50	4	0.75	30	3.8	135	1.75	1.55	33.29	39.79	73.07
51	6	0.6	10	3.8	0	0.63	3.01	102.26	58.47	160.73
52	6	0.75	30	0.72	270	2.67	1.55	20.99	50.04	71.03

53	6	0.6	20	1.7	90	1.75	1.55	36.91	52.76	89.67
54	6	0.75	10	2.79	180	3.95	3.01	31.11	32.16	63.27
55	6	0.66	20	5	45	1.75	1.55	52.46	57.34	109.80
56	6	0.66	10	2.79	315	2.67	3.01	33.83	37.60	71.43
57	6	0.31	20	3.8	180	3.95	0.22	45.01	39.80	84.81
58	6	0.31	30	5	225	0.63	0.22	96.60	91.21	187.81
59	6	0.6	10	0.72	225	3.95	1.55	45.67	23.94	69.61
60	6	0.31	10	1.7	90	2.67	0.22	35.46	28.56	64.01
61	0	0.66	10	3.8	315	3.95	1.55	41.06	43.54	84.60
62	0	0.75	30	2.79	0	1.75	1.55	42.70	44.97	87.67
63	1	0.31	30	3.8	90	2.67	0.22	45.71	70.56	116.27
64	1	0.6	10	0.72	135	3.95	1.55	33.06	30.19	63.24
65	2	0.75	10	1.7	315	0.63	3.01	91.29	68.79	160.07
66	2	0.66	30	5	0	1.75	1.55	52.14	55.97	108.11
67	3	0.31	20	2.79	180	2.67	0.22	34.79	34.81	69.60
68	3	0.6	20	0.72	270	3.95	1.55	30.50	39.74	70.24
69	4	0.66	10	5	0	0.63	3.01	97.74	61.79	159.53
70	4	0.31	30	3.8	45	3.95	0.22	52.84	59.66	112.50
71	6	0.6	10	1.7	180	1.75	1.55	49.34	25.40	74.74
72	6	0.75	10	5	90	3.95	3.01	97.64	76.06	173.70
73	0	0.66	30	3.8	225	3.95	1.55	42.23	69.29	111.51
74	0	0.31	10	5	180	1.75	0.22	53.76	39.91	93.67
75	1	0.6	10	0.72	90	3.95	3.01	32.30	25.43	57.73
76	1	0.66	20	5	270	1.75	3.01	64.41	62.83	127.24
77	2	0.31	30	1.7	45	0.63	0.22	80.46	70.73	151.19
78	2	0.6	20	2.79	135	1.75	3.01	98.84	74.06	172.90
79	3	0.75	20	3.8	180	2.67	1.55	26.47	37.90	64.37
80	3	0.31	30	0.72	90	2.67	0.22	29.43	31.40	60.83
81	4	0.6	10	1.7	180	1.75	1.55	36.86	34.26	71.11
82	4	0.75	20	3.8	90	0.63	1.55	94.71	81.33	176.04
83	6	0.66	20	0.72	315	2.67	1.55	28.27	35.27	63.54
84	6	0.31	10	5	270	2.67	0.22	44.84	47.07	91.91
85	0	0.6	30	2.79	0	3.95	3.01	31.53	41.54	73.07
86	0	0.75	10	0.72	180	1.75	3.01	37.04	31.20	68.24
87	1	0.66	30	2.79	225	0.63	3.01	93.94	87.14	181.09
88	1	0.31	20	5	135	1.75	0.22	58.89	59.84	118.73
89	2	0.6	30	1.7	0	3.95	1.55	24.91	41.14	66.06
90	2	0.6	20	3.8	180	1.75	3.01	41.74	42.70	84.44
91	3	0.75	30	0.72	90	1.75	1.55	29.90	36.83	66.73
92	3	0.66	10	1.7	180	2.67	3.01	26.77	28.79	55.56
93	4	0.6	30	1.7	45	3.95	3.01	27.44	53.60	81.04
94	4	0.31	20	2.79	370	0.63	0.22	91.84	77.16	169.00
95	6	0.6	10	3.8	135	2.67	3.01	29.20	36.80	66.00
96	6	0.75	10	0.72	225	2.67	3.01	25.26	29.16	54.41
97	0	0.31	20	5	270	3.95	0.22	54.79	68.33	123.11
98	0	0.31	30	2.79	90	1.75	0.22	52.94	70.84	123.79
99	1	0.66	10	1.7	0	0.63	1.55	90.84	57.31	148.16
100	1	0.75	20	0.72	180	3.95	3.01	26.56	30.83	57.39

5.5. Préparation de la base de données pour les analyses de sensibilité

• Ajustement de l'échantillon

L'ajustement du modèle est une opération tendant à améliorer la qualité de prédiction à travers une distribution harmonieuse des variables dans le modèle. Pour ce faire, on a réalisé dans un premier temps une analyse de régression linéaire pour pouvoir estimer la distance de Cook (voir figure ci-dessous) et identifier par la suite les combinaisons aberrantes car surreprésentant certaines variables au détriment d'autres (SPSS : 2011). A travers ce premier ajustement, 16 combinaisons ont été

écartées et le modèle est passé de $R^2=0.576$ à $R^2 = 0.711$. Pour améliorer davantage le modèle, nous avons transformé la nature de la variable « résistance des murs extérieurs » de variable continue à variable catégorielle. Cette deuxième amélioration nous a permis d'ajuster le modèle pour que la qualité de prédiction dépasse les 94% (voir tableaux ci-dessous). Le test de colinéarité est vérifié car les VIF de toutes les variables est inférieure à 5.

Tableau 5- 17 : Ajustement du modèle.

Les modèles	R	R ²	R ² ajusté	Erreur type
Sans ajustement	,759 ^a	.576	.544	25.42806
Distance de Cook	,843 ^b	.711	.684	18.96437
RT* des murs considérée comme variable catégorielle	,971 ^c	.942	.935	8.61780

*RT: Résistance thermique.

Tableau 5- 18 : Distance de Cook avant et après l'ajustement.

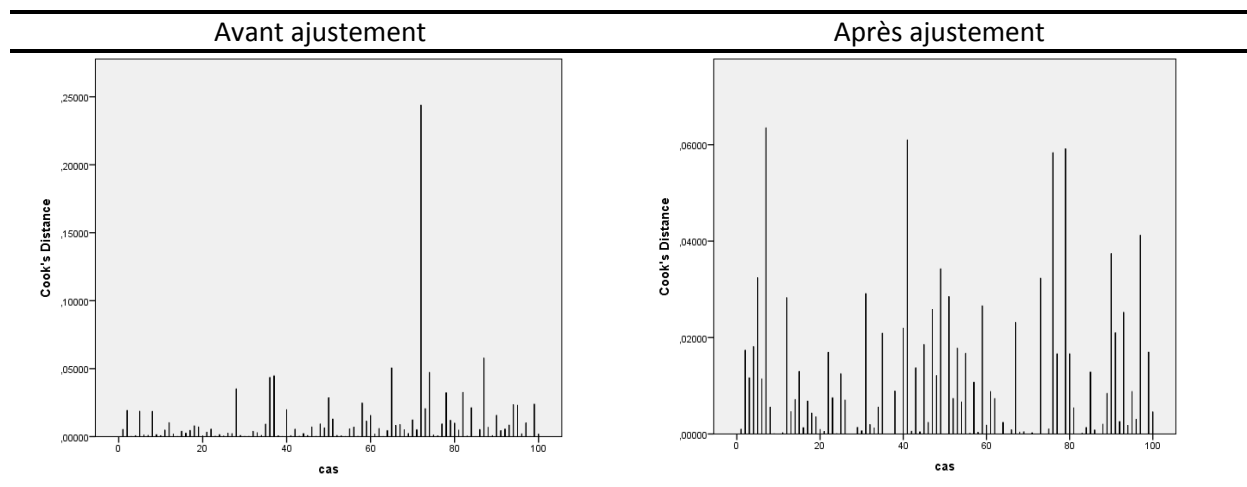


Tableau 5- 19 : Sommaire du modèle après ajustement de l'échantillon. Source : S.Boukarta

Modèle	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig. P	Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
(Constant)	130.999	6.174		21.217	.000		
Prospet	-.940	.493	-.057	-1.904	.061	.877	1.140
Compacité	-9.666	9.115	-.045	-1.060	.292	.427	2.341
Taux de vitrage	.588	.130	.141	4.518	.000	.810	1.234
Type de fenêtre (Uw)	7.820	.647	.364	12.086	.000	.867	1.153
Orientation	.037	.010	.118	3.637	.001	.751	1.331
Résistance_Plancher	-1.606	1.366	-.050	-1.176	.244	.433	2.311
Résistance Mur_1,75	-66.851	3.385	-.911	-19.749	.000	.369	2.709
Résistance Mur_2,79	-82.751	3.450	-1.100	-23.985	.000	.374	2.677
Résistance Mur_3,95	-78.718	3.427	-1.046	-22.971	.000	.379	2.641

IPE total comme variable dépendante.

Le sommaire du modèle obtenu par l'analyse de régression nous montre déjà l'importance des variables introduites dans le modèle à travers les valeurs des Beta (standardisé) et de T *student*. La valeur de Beta exprime la variation de l'indice de performance énergétique pour chaque écart type. Alors que les valeurs les plus élevées de T *student* indiquent l'importance des variables dans le modèle. Les deux indicateurs (Beta et T *student*) indiquent que la résistance des murs est la variable la plus importante dans le modèle alors que la compacité et la résistance du plancher semble ne pas avoir d'effet sur la demande énergétique du modèle générique considéré ($pvalue > 0.05$ ou 0.1).

Comme les modèles de régression linéaires ne permettent pas de définir les pistes de causalités et omettent du fait les effets directs et indirects des variables, nous présenterons dans la section suivante une étude d'association potentielle des variables avec l'indice de performance énergétique suivi par une modélisation d'équation structurelle (MES), afin de comprendre le potentiel explicatif dans la variation de la demande énergétique ainsi que les effets directs et indirects de chaque variable.

5.6. Analyses de sensibilités

5.6.1. Identification des associations potentielles

Pour identifier, parmi toutes les variations appliquées aux variables, les meilleures valeurs de variables associées aux plus faibles valeurs d'IPE⁶⁹, nous avons appliqué un modèle linéaire généralisé qui, en plus du modèle linéaire de régression, traite les variables de façon catégorielle, ce qui permet d'identifier les associations potentielles. Le modèle obtenu présente une précision de 98% avec les associations potentielles présentée dans les figures ci-dessous.

Tableau 5- 20 : Sommaire du modèle linéaire généralisé. Source S.Boukarta

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	92694,943 ^a	27	3433.146	102.210	.000
Intercept	15398.157	1	15398.157	458.428	.000
prospect	337.926	5	67.585	2.012	.091
compacité	668.016	3	222.672	6.629	.001
taux_de_vitrage	607.941	2	303.971	9.050	.000
Type_de_vitrage	7779.990	4	1944.998	57.906	.000
Orientation	2378.017	8	297.252	8.850	.000
Résistance_Plancher	204.732	2	102.366	3.048	.055
Résistance Mur_1,75	18919.217	1	18919.217	563.256	.000
Résistance Mur_2,79	28903.268	1	28903.268	860.498	.000
Résistance Mur_3,95	26493.954	1	26493.954	788.768	.000
Error	1880.985	56	33.589		
Total	826949.668	84			
Corrected Total	94575.927	83			

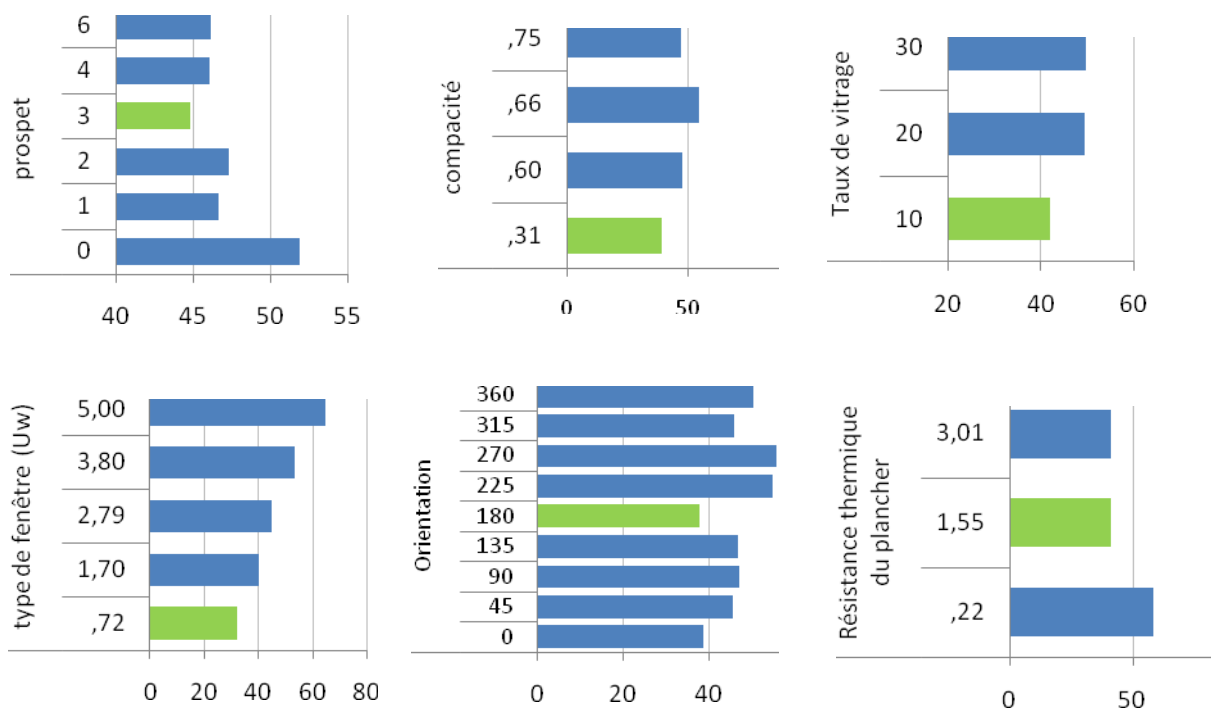
a. R Squared = ,980 (Adjusted R Squared = ,971)
Dependent Variable: IPE TOTAL (Kwh/m².an)

Les résultats de l'association de chaque variation paramétrique avec la valeur moyenne de l'indice de performance énergétique lui correspondant nous a permis d'organiser dans un premier temps les variables selon leur potentiel d'économie d'énergie qui en découle. Le registre de l'enveloppe contient les variables explicatives de la demande énergétique les plus importantes. La résistance thermique des murs extérieurs préférentielle dans un climat semi-aride est de l'ordre de 2.79 m.k/w⁷⁰ et peut générer des économies d'énergie pouvant atteindre les -86 kWh/m².an. Une valeur supérieure à celle-ci provoque une surchauffe piégée par l'effet de thermos. La chaleur intérieure se trouve difficile à dissiper vers l'extérieur de l'habitation. La qualité des ouvertures occupe la deuxième position avec un potentiel d'économie d'énergie pouvant atteindre les -33 kWh/m².an si l'habitation est équipée de fenêtre de type triple vitrage (Uw=0.72). L'orientation est classée en troisième ordre avec un taux de réduction de la demande énergétique estimée à près de -17.51 kWh/m².an pour une orientation de 180° où le séjour et la chambre 1 sont orientés vers le Sud alors

⁶⁹ Indice de performance énergétique.

⁷⁰ M.k/w : Mètre-kelvin par watt.

que la cuisine, les sanitaires et la chambre 2 sont orientés vers le Nord. Ce résultat est expliqué par le fait que la demande énergétique la plus importante pour le chauffage et la climatisation se trouve concentrée dans le séjour et la chambre 1 qui sont alignés sur la même façade, alors que sur l'autre façade, on y trouve que la cuisine, les sanitaires dont la demande en énergie n'est considérée que pour le chauffage, la climatisation n'a pas été introduite dans ces espaces pour les considérations fonctionnelles et réglementaires exigées. La résistance thermique du plancher haut a un effet presque similaire à l'orientation et pouvant atteindre les $-17.15 \text{ kWh/m}^2.\text{an}$ pour une valeur limite de la résistance thermique du plancher de $1.5 \text{ m}^2.\text{k/w}$. Au-dessus de cette valeur la demande énergétique augmente. La compacité qui est exprimée ici par le mode de contact, présente un taux d'économie d'énergie pouvant atteindre les $-15.5 \text{ kWh/m}^2.\text{an}$ pour une compacité (V/S) de 0.31 soit pour une habitation sans contact. Ce résultat semble contradictoire avec les résultats de certaines recherches (Singh et al : 2013), qui ont démontré qu'avec le mode de contact, les habitations ont tendance à bien réduire leur demande en énergie, mais ce résultat n'est fiable que dans le cas où les habitations en question ne sont pas ou peu isolées. La compacité perd son potentiel d'économie d'énergie devant les fort taux d'isolation thermique de l'enveloppe. Economiquement, une faible compacité génère un surcoût pour l'isolation car la surface de déperdition est plus importante. Le taux de vitrage préférentiel pour une économie d'énergie meilleure ($-7.66 \text{ kWh/m}^2.\text{an}$) dans le cas d'un climat semi-aride est estimé à 10%. Au-dessus de cette valeur, l'observation de nos résultats montre une augmentation de la demande énergétique. Enfin et pas loin du taux de vitrage, l'impact du prospect maximum ne peut atteindre que $-7.11 \text{ kWh/m}^2.\text{an}$ pour une valeur 3 de prospect.



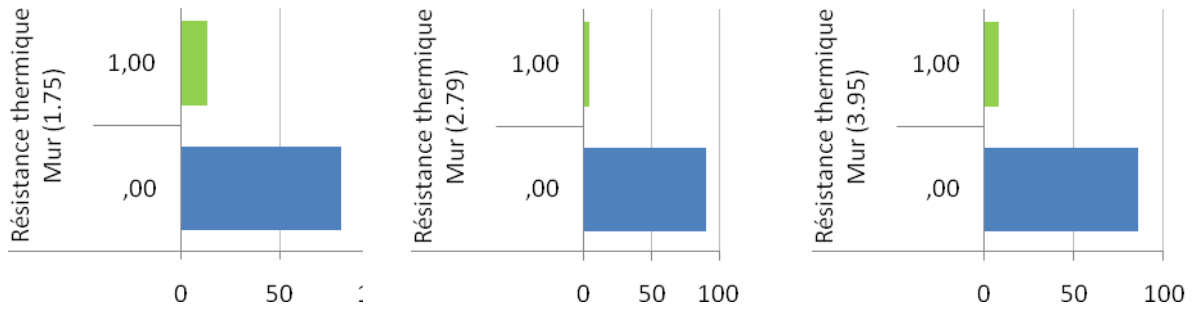


Fig 5- 26 : Potentiel d'économie d'énergie généré par la variation paramétrique de chaque variable.

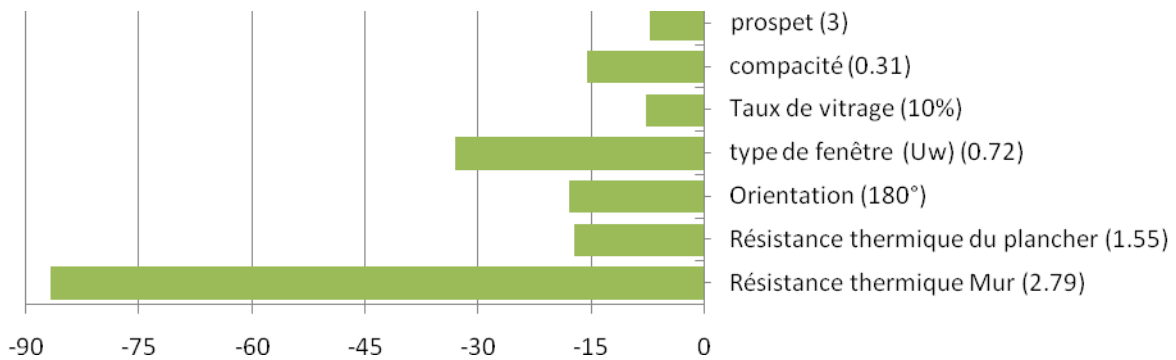


Fig 5- 27 : Potentiel d'économie d'énergie généré par les meilleures variables. Source : S.Boukarta

5.6.2. Identification des corrélations potentielles

Nous avons identifié *supra* le potentiel d'économie d'énergie de chaque variable considérée individuellement sans traiter la question des corrélations potentielles que peuvent entretenir ces variables entre elles. Dans cette partie nous identifierons en trois étapes les corrélations potentielles entre les variables, afin de pouvoir estimer les effets directs et indirects de ces variables sur la demande énergétique. La première étape consiste à balayer par une corrélation bi-variée toutes les possibilités de corrélation entre variables. Puis dans un second temps, et à travers une ACP, nous visualiserons la proximité d'influence des variables explicatives. L'étape une et deux nous permettront de développer une série d'hypothèses concernant l'effet des variables les unes sur les autres. Ces hypothèses seront vérifiées à travers une analyse de piste de causalité dans la troisième étape.

Tableau 5- 21 : Descriptif des données

Variable	N	Minimum	Maximum	moyenne	Ecart type
Prospet	84	0	6	2.63	2.04
Compacité	84	.31	.75	.57	.15
Taux de vitrage	84	10	30	18.93	8.06
Type de fenêtre (Uw)	84	.72	5.00	2.66	1.56
Orientation	84	0	370	146.90	108.48
Résistance thermique des murs	84	.63	3.95	2.43	1.14
Résistance thermique des planchers	84	.22	3.01	1.75	1.05
IPE chauffage (Kwh/m².an)	84	20.19	104.56	46.50	23.67
IPE climatisation (Kwh/m².an)	84	23.94	91.21	46.87	13.42
IPE TOTAL (Kwh/m².an)	84	54.41	187.81	93.37	33.75

a. Corrélation bi-variée

L'application de la corrélation bi-variée sur l'ensemble des variables ne nous a pas renseignés davantage sur les possibles corrélations entre variables qui semblent être dans la plupart des cas non significatives. Par contre, le fait d'introduire le détail de la consommation d'énergie avec ces deux composantes, le chauffage et la climatisation, nous a permis de mettre en exergue des corrélations à effet variable selon qu'il s'agit du chauffage, de la climatisation ou de la demande totale.

Tableau 5- 22 : Corrélation bi-variée entre demande énergétique et variables explicatives.

Variable	IPE chauffage		IPE climatisation		IPE TOTAL	
	Correlation	Sig.	Correlation	Sig.	Correlation	Sig.
prospect	-0.002	0.987	-0.159	0.148	-0.065	0.56
Compacité	-,312**	0.004	-,277*	0.011	-,329**	0.002
Taux de vitrage	-,286**	0.008	,263*	0.016	-0.096	0.387
Type de vitrage (Uw)	,502**	0	,575**	0	,581**	0
Orientation	-,292**	0.007	-0.011	0.92	-0.209	0.057
Résistance thermique des murs	-,686**	0	-,471**	0	-,669**	0
Résistance thermique des planchers	-0.191	0.082	-,264*	0.015	-,239*	0.028

D'après le tableau des corrélations, seulement trois variables : la compacité, le type des fenêtres (Uw) et la résistance des murs extérieurs, ont une corrélation significative avec la demande énergétique due au chauffage, climatisation et totale. Par contre, le prospect ne semble avoir aucune corrélation significative avec les trois types de demande énergétique. Alors que le taux de vitrage a une corrélation significative contrastée, négative (-0.286) avec la demande du chauffage et positive avec la climatisation (0.263). Dans la même lignée, l'orientation ne semble être corrélée négativement et significativement qu'avec la demande du chauffage (-0.292). Enfin la résistance thermique des planchers n'est corrélée qu'avec la climatisation et la demande totale avec des valeurs respectives de -0.264 et -0.239.

Nous avançons donc, à ce stade d'analyse et sur la base des corrélations bi-variées, les hypothèses de causalité présentées dans le tableau, ci-dessous :

Tableau 5- 23 : Hypothèses de causalité entre variables. Source : S.Boukarta

Hypothèse portant sur la nature des effets des variables			
Modèle	Variable à effet direct	Variable à effet indirect	Variable à effet neutre
Chauffage	Compacité	Prospect	/
	Taux de vitrage	Résistance des planchers	
	Type de fenêtre		
	Orientation		
	Résistance des murs		
Climatisation	Compacité	Orientation	/
	Type de vitrage	Prospect	
	Taux de vitrage		
	Résistance des murs		
	Résistance des planchers		
IPE global	Compacité	Prospet	/
	Type de fenêtre	Taux de vitrage	
	Résistance des murs	orientation	
	Résistance du plancher		

Les hypothèses de causalité présentées *supra* ne nous renseignent pas non plus sur les corrélations possibles entre les variables, car la corrélation bi-variée ne considère pas plus de deux variables. L'analyse en composante principale, qui est une approche d'analyse de corrélation multi-variée, nous permettra alors d'explorer les associations potentielles entre les variables.

b. Analyse en composante principale

L'analyse en composante principale est appliquée à l'ensemble des variables en considérant les sept variables avec la demande énergétique due au chauffage, climatisation et totale. L'indice de sphéricité ou le test de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) a une valeur de 0.58, ce qui est une valeur acceptable car supérieure à la limite 0.5 (Pechenizkiy et al : 2004, Field : 2009). La projection factorielle est arrêtée au niveau du troisième facteur à partir duquel la limite de la valeur propre initiale ou *Eigenvalue* est inférieure à 1 (Field : 2009, Costello et Osborne : 2005) (voir figure ci-dessous). La qualité de la représentation cumulée des trois facteurs de l'ACP est 69.63%, ce qui représente une bonne projection des variables dans l'espace de l'ACP.

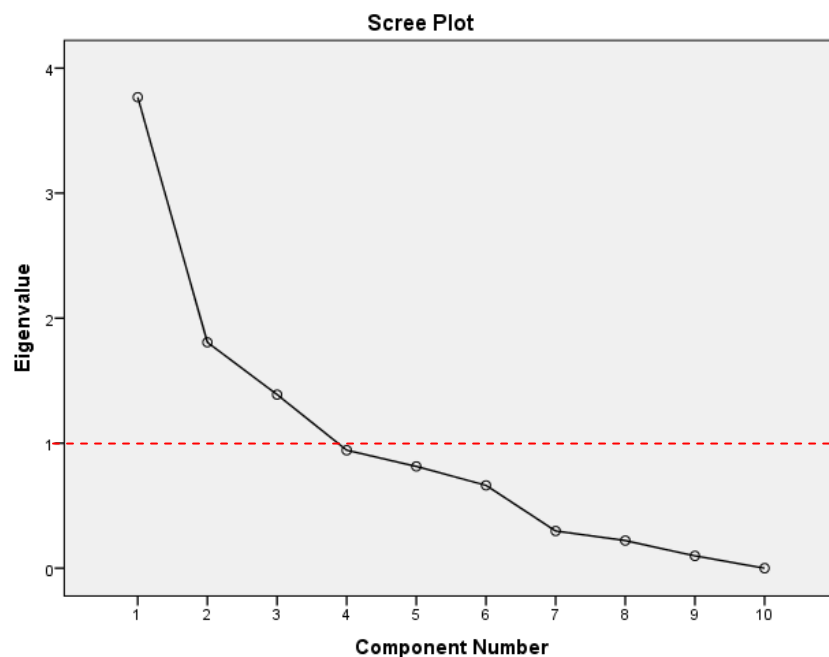


Fig 5- 28 : Graphique des valeurs propres.

Les variables introduites dans l'ACP (10) doivent aussi toutes avoir un minimum de communalité (la proportion de variance que chaque variable a en commun avec les autres variables) supérieur à 0.4 ou du moins 0.32 comme le suggère Tabachnick and Fidell (2001), seuil au-dessus duquel la variable en question est à éliminer de l'analyse. Dans notre cas, toutes les variables ont une valeur supérieure à 0.4 (Voir tableau ci-dessous).

Tableau 5- 24 : Communalités des variables.

	Initial	Extraction
Prospect	1,000	,530
Taux de vitrage	1,000	,708
Compacité	1,000	,757
Type de fenêtre (Uw)	1,000	,434
Orientation	1,000	,460
Résistance thermique Plancher	1,000	,793
Résistance thermique des murs	1,000	,609
IPE TOTAL (Kwh/m².an)	1,000	,959
IPE chauffage Kwh/m².an	1,000	,914
IPE climatisation Kwh/m².an	1,000	,800

Avant de tracer l'ACP, toutes les communalités des variables sont identifiées par facteur de projection. Et dans cette étape, certaines variables ont des valeurs nettement inférieures à 0.4 et 0.32 (Voir Tableau 5-25).

Tableau 5- 25 : Communalités des variables par facteur.

Variable	Facteur		
	1 (global)	2(R_plancher)	3(climatisation)
Prospect	-,061	-,114	-,716
Taux de vitrage	-,075	-,283	,789
Compacité	-,436	,749	,073
Type de fenêtre (Uw)	,648	,103	,062
Orientation	-,224	-,577	-,279
Résistance thermique du Plancher	-,355	,815	,047
Résistance thermique des murs	-,696	-,306	,177
IPE TOTAL (Kwh/m².an)	,975	,091	-,006
IPE chauffage Kwh/m².an	,919	,184	-,186
IPE climatisation Kwh/m².an	,832	-,095	,314

La projection des variables par facteur nous permet de distinguer les corrélations potentielles entre variables. A travers le premier facteur, 5 corrélations potentielles sont déjà présentes entre la compacité, type de fenêtre, résistance thermique des planchers, des murs et la demande énergétique pour le chauffage, climatisation et la demande globale. Selon la projection sur le deuxième facteur, on n'a que trois associations potentielles entre la compacité, l'orientation et la résistance thermique du plancher. Alors que la projection des variables sur le troisième facteur ne fait ressortir que le prospect et le taux de vitrage. Il est à noter que la demande énergétique est fortement et uniquement projetée sur le premier facteur, ce nous permet d'émettre notre première hypothèse qui consiste à supposer un effet direct de la compacité, type de fenêtre, résistance thermique des planchers et des murs sur la demande énergétique due au chauffage, climatisation et globale. Cependant, les autres variables identifiées à travers les facteurs 2 et 3 sont supposées impacter indirectement la demande énergétique. Nous pouvons à ce stade dessiner la nature des corrélations potentielles entre variables.

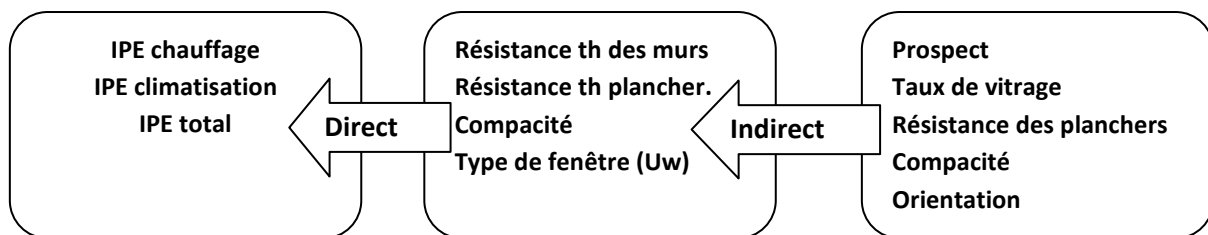


Fig 5- 29 : Hypothèses de piste de causalité. Source : S.Boukarta

Pour décomposer davantage les effets par type de demande énergétique, on a dessiné l'ACP selon la projection factorielle des variables. Étant donné que l'ACP est présenté en 3D, il est difficile de la lire, c'est pourquoi nous avons procédé à une lecture des faces (Ibanez : 1972) en donnant la préférence aux faces ayant la demande énergétique projetée correctement par rapport aux facteurs. Nous avons donc considéré la configuration facteur1-facteur2 et facteur1-facteur3, et la configuration facteur 2-facteur 3 est écartée car peu significative pour notre analyse.

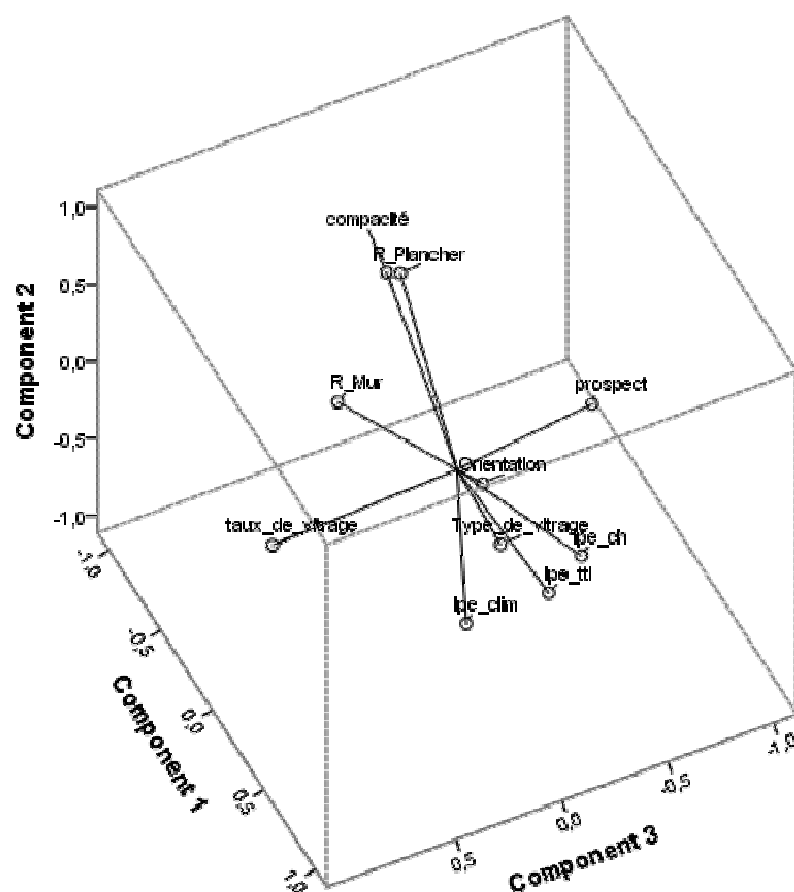


Fig 5- 30 : Projection des variables en analyse de composante principale (69.63%).

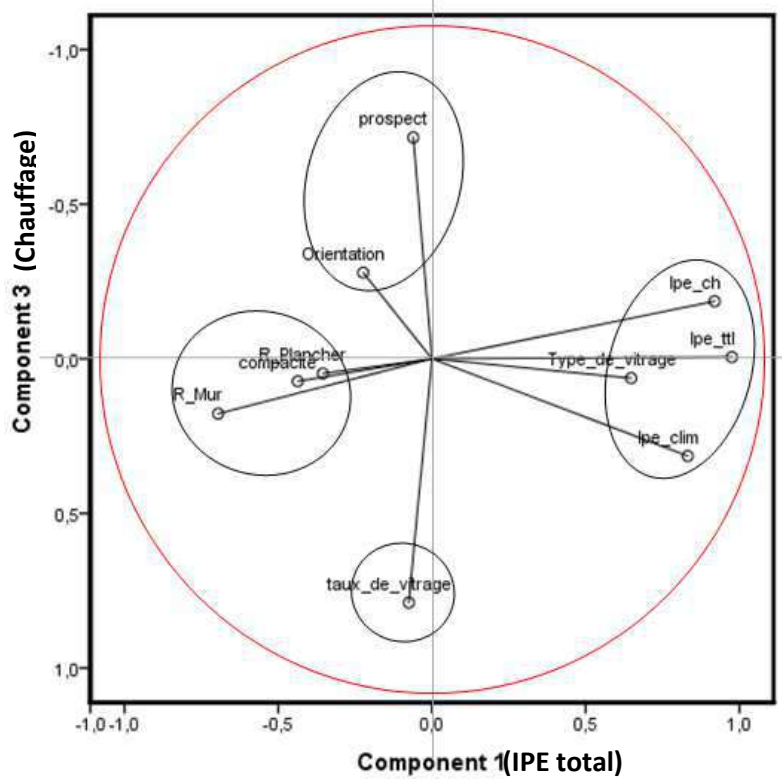


Fig 5- 31 : Projection des variables selon les facteurs 1 et 3.

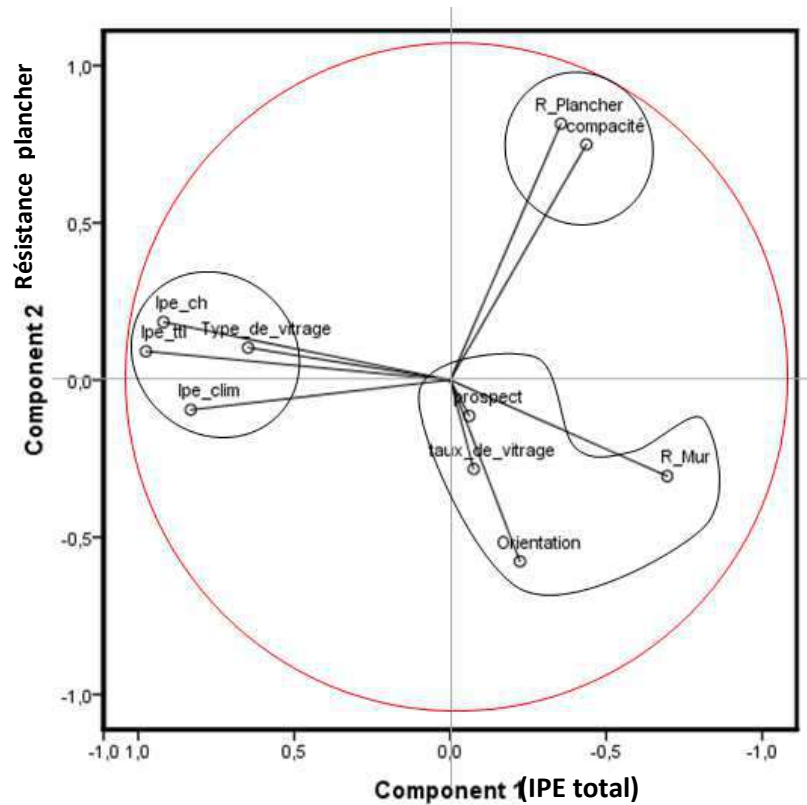


Fig 5- 32 : Projection des variables selon les facteurs 1 et 3.

En se basant sur la lecture de l'ACP selon les facteurs 1 et 3 et 1 et 2, nous avons pu identifier une lecture axiale de l'ACP. L'axe des X sépare sur sa partie supérieure les variables générant plus de demande pour le chauffage et sur la partie inférieure de l'axe, se trouve projetées les variables générant plus de demande énergétique pour la climatisation, le facteur 3 correspond le plus à cette configuration et semble expliquer davantage la demande en climatisation. L'axe des Y par contre, sépare en sa partie droite les variables générant plus de demande énergétique globale, car cette variable est parfaitement projetée à l'extrémité de l'axe des X, le facteur 1 correspond donc à la demande globale d'énergie. Sur la base de cette lecture axiale, nous avons pu tracer la synthèse dans la matrice présentée ci-dessous :

Tableau 5- 26 : Matrice présentant l'effet de variation de chaque variable sur la demande énergétique. Avec : TT : demande totale d'énergie ; CL : demande pour la climatisation ; CH : Demande pour le chauffage. Les variables en gras indiquent les variables générant plus de demande énergétique pour les trois demandes d'énergie. Le rouge présente les variables générant plus de chauffage et le bleu indique la tendance des variables générant plus de climatisation. Source : S.Boukarta

TT- CH- CL-	Prospect	+	Prospect	+
	Compacité	+	Compacité	-
	Taux de vitrage	n	Taux de vitrage	-
	Type de fenêtre (Uw)	-	Type de fenêtre (Uw)	+
	Orientation	+	Orientation	-
	Résistance thermique des murs	+	Résistance thermique des murs	-
	Résistance thermique des planchers	+	Résistance thermique des planchers	-
TT- CL- CH-	Prospect	n	Prospect	-
	Compacité	+	Compacité	-
	Taux de vitrage	+	Taux de vitrage	+
	Type de fenêtre (Uw)	-	Type de fenêtre (Uw)	+
	Orientation	+	Orientation	-
	Résistance thermique des murs	+	Résistance thermique des murs	-
	Résistance thermique des planchers	+	Résistance thermique des planchers	-

En s'appuyant sur la matrice présentée ci-dessus, nous avons pu schématiser les effets potentiels direct et indirect des variables sur la demande énergétique et sur la base desquels il nous sera possible de vérifier leurs pertinences à travers une modélisation d'équation structurelle (MES).

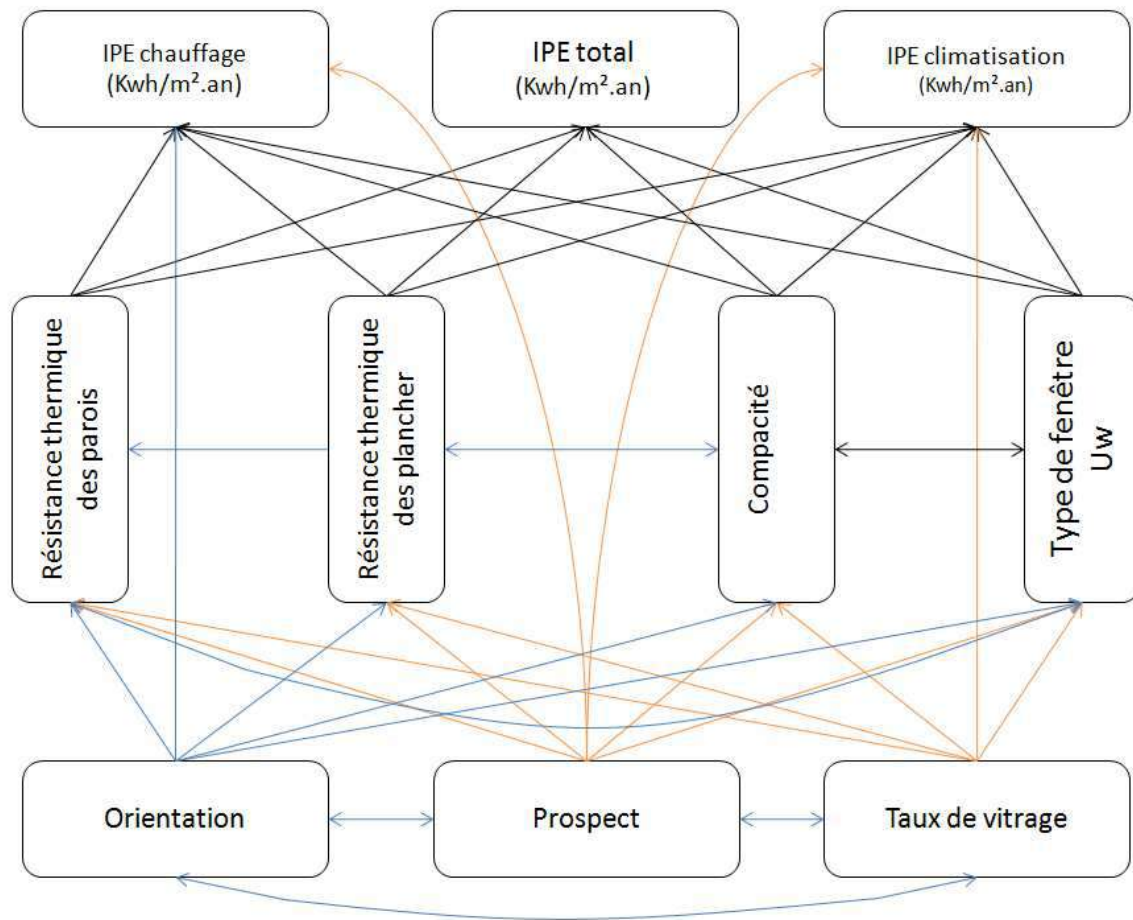


Fig 5- 33 : Ensemble des hypothèses de pistes de causalité. Où les pistes dessinées en couleur noir sont extraite de l'axe1, la couleur bleu de l'axe 2 et la couleur orange de l'axe 3. Source : S.Boukarta

5.7. Modélisation d'équation structurelle

En se basant sur le schéma présenté supra, nous avons testé à travers la modélisation par équation structurelle réalisé sous SPSS Amos (18) et nous sommes arrivés à trois modèles expliquant la variance de la demande énergétique du chauffage, climatisation et celle globale à travers les sept variables sélectionnées pour l'échelle du bâtiment.

5.7.1. Modèle de la demande énergétique due au chauffage

5.7.1.1. Indices d'ajustement

Après avoir testé toutes les pistes de causalité présentées dans la figure ci-dessus et dans le respect des conditions de validation du modèle présentées dans le tableau ci-dessous, nous avons pu tracer les pistes de causalité.

	<i>df</i>	χ^2	Niveau de probabilité	RMSEA	NFI	CFI
Modèle du chauffage	14	10.529	0.723	0.000	0.960	1.000

La figure ci-dessous présente les pistes de causalité significative représentant l'effet direct standardisé de chaque variable dans le modèle.

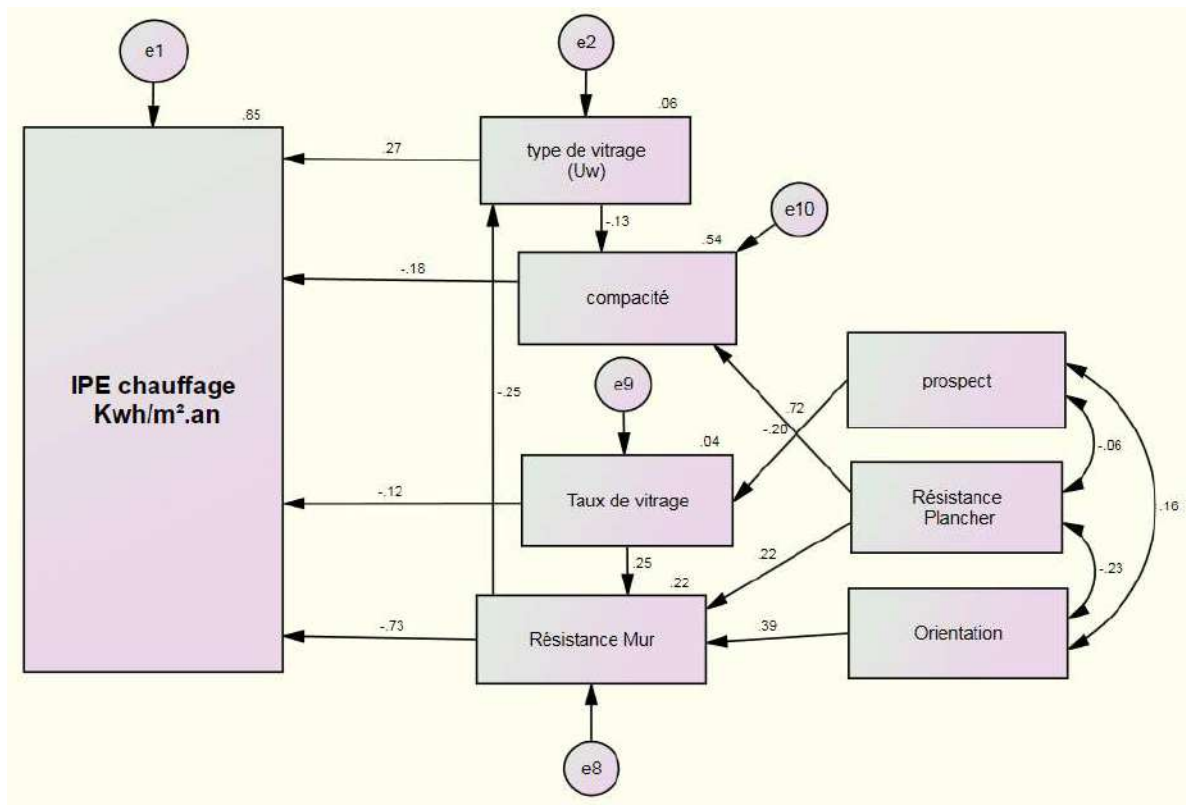


Fig 5- 34 : Effet direct standardisé des variables dans le modèle.

Tableau 5- 28 : Effets directs entre variables.

			Estimation	Pvalue
Taux de vitrage	<---	prospect	-.199	.064*
Résistance thermique des murs	<---	Orientation	.387	***
Résistance thermique des murs	<---	Résistance thermique des Plancher	.221	.027**
Résistance thermique des murs	<---	taux_de_vitrage	.252	.010**
Type de vitrage	<---	Résistance thermique des murs	-.253	.017**
compacité	<---	Résistance thermique des Plancher	.719	***
compacité	<---	Type_de_vitrage	-.131	.079*
Ipe chauffage (Kwh/m².an)	<---	Type_de_vitrage	.267	***
Ipe chauffage (Kwh/m².an)	<---	Résistance thermique des murs	-.730	***
Ipe chauffage (Kwh/m².an)	<---	compacité	-.181	***
Ipe chauffage (Kwh/m².an)	<---	Taux de vitrage	-.120	.007**

***Significatif au niveau 0.001

** Significatif au niveau 0.05

* Significatif au niveau 0.1

Tableau 5- 29 : Effets standardisés direct, indirect et total des variables sur la demande énergétique. Source : S.Boukarta

Variables	Effet	taux de vitrage	R Mur	Uw	Compacité	Ipe chauffage
prospect	Direct	-.199	.000	.000	.000	.000
	Indirect	.000	-.050	.013	-.002	.064
	Total	-.199	-.050	.013	-.002	.064
Orientation	Direct	.000	.387	.000	.000	.000
	Indirect	.000	.000	-.098	.013	-.311
	Total	.000	.387	-.098	.013	-.311
Résistance thermique Plancher	Direct	.000	.221	.000	.719	.000
	Indirect	.000	.000	-.056	.007	-.308
	Total	.000	.221	-.056	.726	-.308
Taux de vitrage	Direct	.000	.252	.000	.000	-.120
	Indirect	.000	.000	-.064	.008	-.202
	Total	.000	.252	-.064	.008	-.322

Résistance thermique des murs	Direct	.000	.000	-.253	.000	-.730
	Indirect	.000	.000	.000	.033	-.074
	Total	.000	.000	-.253	.033	-.804
Type de vitrage	Direct	.000	.000	.000	-.131	.267
	Indirect	.000	.000	.000	.000	.024
	Total	.000	.000	.000	-.131	.291
compacité	Direct	.000	.000	.000	.000	-.181
	Indirect	.000	.000	.000	.000	.000
	Total	.000	.000	.000	.000	-.181

5.7.1.2. Discussion des résultats

• Effet de la compacité

La compacité est négativement corrélée avec la demande en chauffage. Son impact n'est que direct et positif car réduisant la surface déperditive. Pour chaque écart type de compacité (0.16), la demande en chauffage est réduite de -18.1%. Soit pour chaque valeur 1 de compacité de plus, la demande en chauffage diminue de 26.77 Kwh/m².an ou 6.69 kWh/m².an.personne.

• Effet de type de fenêtre

L'effet de type de fenêtre a été considéré dans la présente étude par le coefficient de transmission U de la fenêtre qui varie selon le type de vitrage et la qualité de menuiserie. Plus la valeur de Uw augmente, plus grande sera la demande en chauffage. Pour chaque écart type de plus d'Uw (1.57 w/m².k), la demande en chauffage augmente directement de 26.7% et indirectement de 2.4% à travers la compacité, soit un total de 29.1% ou 6.89 kWh/m².an. Si l'on considère le potentiel d'économie d'énergie par personne, on n'obtiendra que 1.72kWh/m².an.personne par écart type. Si l'on harmonise et simplifie nos résultats, pour chaque diminution de 1 w/m².k dans la valeur de Uw, on aura une diminution de près de 1.097 kWh/m².an.personne. Avec le passage d'un simple vitrage (Uw=5) à un double vitrage performant (Uw=1), la demande de chauffage diminuera de près de 21.96Kwh/m².an ou 5.49Kwh/m².an.personne.

• Effet de la résistance thermique des murs

La qualité de l'enveloppe, notamment celle des murs extérieurs, joue un rôle important dans la réduction des charges énergétique pour le chauffage. Dans le cas d'un climat semi-aride, la demande du chauffage diminue sensiblement directement avec une valeur de 9.54Kwh/m².an ou 2.38 kWh/m².an.personne pour chaque augmentation de 1 m².k/w de résistance thermique des murs extérieurs. Indirectement, la résistance thermique diminue la demande de chauffage que de -7.4% par écart type soit 0.96kw/m².an ou 0.241Kwh/m².an.personne. L'effet total de la résistance thermique s'élève à 10.484 kwh/m².an ou 2.621kwh/m².an par personne pour chaque 1 m².k/w de plus de résistance thermique appliquée aux murs extérieurs. Avec le passage d'un mur « double paroi en brique » à un mono-mur avec isolation (Rm=3.95 m².k/w), la demande en chauffage pourra baisser de 65.73 Kwh/m².an ou 16.43 kwh/m².an par personne.

• Effet du taux de vitrage sur la demande de chauffage

Le taux de vitrage a d'autant plus d'effet indirect avec la qualité de la résistance thermique que directement, sans amélioration de la qualité de l'enveloppe. Ainsi, pour chaque 10% de taux de vitrage (surface des fenêtres/surface habitable) de plus, la demande en chauffage diminue de 3.52 kWh/m².an ou 0.87 kWh/m².an.personne. L'effet indirect à travers la résistance des murs extérieurs est presque le double, -20.2 % par écart type, soit pour chaque 10 % de taux de vitrage de plus, la

demande de chauffage baisse de 5.91 kWh/m².an ou 1.47 par personne. L'effet total du taux de vitrage est de 2.34kwh/m².an par personne.

- **Effet de la résistance thermique des planchers**

La résistance thermique des planchers n'a d'effet que indirectement, à travers la compacité et la résistance thermique des murs extérieurs. Pour chaque écart type de résistance thermique de plancher (1.05 m².k/w), la demande énergétique due au chauffage baisse de 12.96% (-0.18*0.72) à travers la compacité, soit -2.92kWh/m².an pour chaque 1 m².k/w de résistance thermique de plus appliquée au plancher. Et avec la résistance thermique des murs, l'effet de la résistance thermique des plancher baisse de 16.06% (-0.73*0.22) soit pour chaque unité de plus de résistance thermique des plancher, la demande de chauffage diminue de -3.62 kWh/m².an. L'effet total diminue la demande énergétique due au chauffage de 6.54 kWh/m².an soit 1.64 kWh/m².an par personne.

- **Effet de l'orientation**

L'orientation a un effet indirect sur la demande de chauffage, à travers la résistance thermique des murs extérieurs. Cet effet est estimé de -31.1%, soit 7.36 kWh/m².an pour une orientation de 108° Sud-Est (séjour et chambre 1 orientée vers le Sud-est).

- **Effet du prospect**

Le prospect a aussi un effet indirect sur la demande énergétique du chauffage, à travers le taux de vitrage. Pour chaque augmentation de 2% pour le prospect, la demande de chauffage augmente faiblement d'une valeur de 6.4%, soit 1.51 kWh/m².an.

5.7.2. Modèle de la demande énergétique due à la climatisation

5.7.2.1. Indices d'ajustement

Après avoir essayé toutes les hypothèses présentées *supra*, on est arrivé au modèle de climatisation dont la modélisation est présentée dans la figure ci-dessous. Le modèle obtenu répond aux critères d'ajustement et de validation du modèle (voir tableau ci-dessous).

Tableau 5- 30 : Indices d'ajustement du modèle de la demande due à la climatisation

	df	χ^2	Niveau de probabilité	RMSEA	NFI	CFI
Modèle de la climatisation	11	10.248	0.508	0.000	0.954	1.000

Tableau 5- 31 : Effets directs entre variables.

			Effet	Pvalue
Type_de_vitrage	<---	compacité	-0.18	0.096*
tauxde_vitrage	<---	prospect	-0.199	0.064*
Résistance thermique des murs	<---	Résistance thermique des planchers	0.203	0.043**
Résistance thermique des murs	<---	Type_de_vitrage	-0.158	0.10*
Résistance thermique des murs	<---	taux_de_vitrage	0.229	0.018**
Résistance thermique des murs	<---	Orientation	0.365	***
lpeclimatisation (Kwh/m ² .an)	<---	Type_de_vitrage	0.497	***
lpe climatisation (Kwh/m ² .an)	<---	Orientation	0.296	***
lpe climatisation (Kwh/m ² .an)	<---	Résistance thermique des murs	-0.585	***
lpe climatisation (Kwh/m ² .an)	<---	prospect	-0.116	0.033**
lpe climatisation (Kwh/m ² .an)	<---	taux_de_vitrage	0.434	***

***Significatif au niveau 0.001

** Significatif au niveau 0.05

* Significatif au niveau 0.1

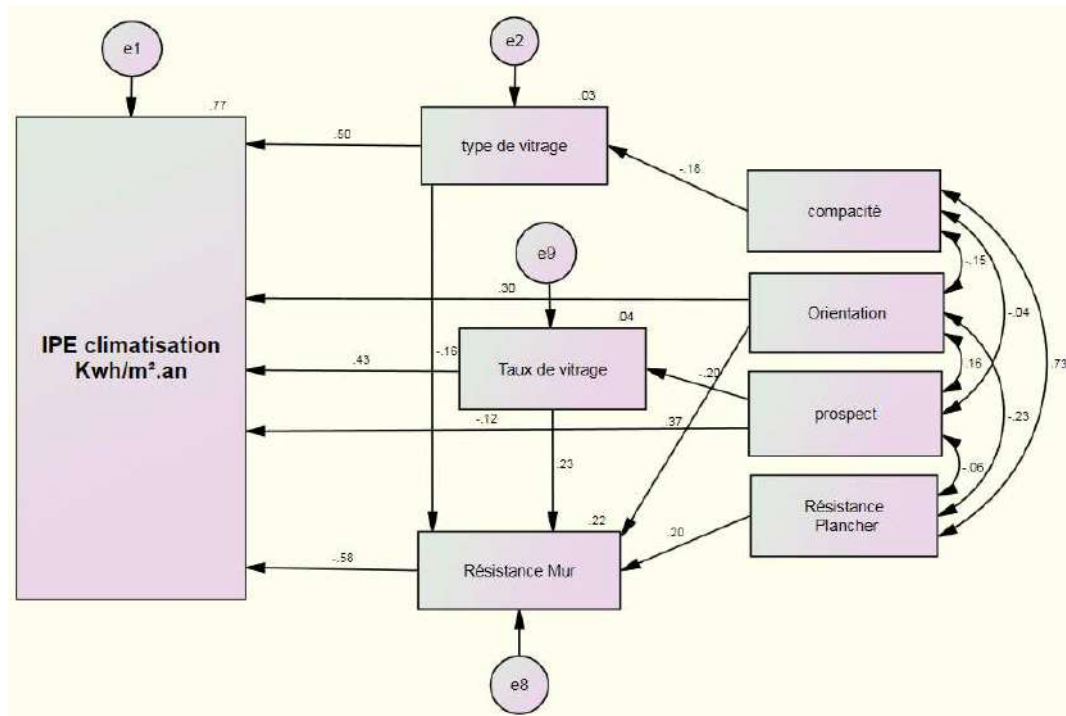


Fig 5- 35 : Modèle explicatif de la demande d'énergie pour la climatisation.

Tableau 5- 32 : Effets standardisés direct, indirect et total des variables sur la demande énergétique due à la climatisation.

	Effet	Taux_de_vitrage	Type_de_vitrage	Résistance_Mur	lpe_clim
Prospect	Direct	-0.199	0.000	0.000	-0.116
	indirect	0.000	0.000	-0.046	-0.060
	Total	-0.199	0.000	-0.046	-0.176
Compacité	Direct	0.000	-0.180	0.000	0.000
	indirect	0.000	0.000	0.028	-0.106
	Total	0.000	-0.180	0.028	-0.106
Orientation	Direct	0.000	0.000	0.365	0.296
	indirect	0.000	0.000	0.000	-0.214
	Total	0.000	0.000	0.365	0.082
Résistance _Plancher	Direct	0.000	0.000	0.203	0.000
	indirect	0.000	0.000	0.000	-0.119
	Total	0.000	0.000	0.203	-0.119
Taux_de_vitrage	Direct	0.000	0.000	0.229	0.434
	indirect	0.000	0.000	0.000	-0.134
	Total	0.000	0.000	0.229	0.300
Type_de_vitrage	Direct	0.000	0.000	-0.158	0.497
	indirect	0.000	0.000	0.000	0.093
	Total	0.000	0.000	-0.158	0.589
Résistance_Mur	Direct	0.000	0.000	0.000	-0.585
	indirect	0.000	0.000	0.000	0.000
	Total	0.000	0.000	0.000	-0.585

5.7.2.2. Discussion des résultats

- **Effet de la résistance des murs extérieurs**

La résistance thermique des murs extérieurs a un effet direct positif sur la demande énergétique due à la climatisation. Pour chaque 1 m².k/w de résistance thermique de plus appliquée aux murs, la demande énergétique baisse de 4.34Kwh/m².an ou 1.09Kwh/m².an par personne.

- **Effet de type de vitrage**

Le type de vitrage est ici représenté par la valeur du coefficient de transmission U. Son effet est double, direct et négatif car augmentant la demande énergétique de près de 49.7%, soit que pour 1 $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ de plus, la demande due à la climatisation augmente de 4.25 $\text{kWh/m}^2\cdot\text{an}$. Indirectement, l'effet de type de vitrage impacte aussi indirectement la charge due à la climatisation, à travers la résistance thermique des murs extérieurs, de 9.3% soit 0.8 $\text{kWh/m}^2\cdot\text{an}$ pour chaque unité d' U_w appliquée aux fenêtres. L'effet total s'élève alors à près de 5.04 $\text{kWh/m}^2\cdot\text{an}$. Avec une amélioration des performances thermiques des fenêtres en passant de simple vitrage ($U_w=5$) au double vitrage performant ($U_w=1.5$), la demande énergétique pour la climatisation baisse de -22.68 $\text{kWh/m}^2\cdot\text{an}$ ou -5.67 $\text{kWh/m}^2\cdot\text{an}$ par personne.

- **Effet du taux de vitrage**

Le taux de vitrage a un effet direct de 43.4 % sur la demande énergétique pour la climatisation, soit pour chaque 10% de taux de vitrage de plus, le besoin de climatisation augmente de 7.22 $\text{kWh/m}^2\cdot\text{an}$. Indirectement, le taux de vitrage impacte positivement la demande en énergie pour la climatisation en la réduisant de -13.4% à travers la résistance thermique des murs extérieurs. Pour chaque 10% de taux de vitrage de plus, la demande énergétique baisse alors de -2.23 $\text{kWh/m}^2\cdot\text{an}$. L'effet total est estimé de -9.45 $\text{kWh/m}^2\cdot\text{an}$ ou -2.36 $\text{kWh/m}^2\cdot\text{an}$ par personne.

- **Effet de la résistance thermique des planchers**

La résistance thermique des planchers n'a d'effet que indirectement, avec la résistance thermique des murs. Pour chaque 1 $\text{m}^2\cdot\text{K/W}$ de résistance thermique appliquée aux plancher, la demande d'énergie due à la climatisation baisse de -11.9% soit -1.52 $\text{kWh/m}^2\cdot\text{an}$.

- **Effet de l'orientation**

L'orientation a un impact direct négatif sur la demande énergétique due à la climatisation, de 29.6% soit avec une réorientation de l'axe du logement de Nord Sud (0°) à l'axe Est-Ouest (chambre1 et séjour) ou 90° de plus, la demande de climatisation augmente de 3.31 $\text{kWh/m}^2\cdot\text{an}$. Indirectement, l'orientation a un effet à travers la résistance thermique des murs extérieurs, de -21.4%, soit -2.39 $\text{kWh/m}^2\cdot\text{an}$. L'effet total reste négatif avec 8.2% soit 0.91 $\text{kWh/m}^2\cdot\text{an}$.

- **Effet de la compacité**

La compacité n'a qu'un effet indirect sur la demande d'énergie due à la climatisation, à travers le type de fenêtre. Avec une augmentation de la compacité (V/S) d'une unité, le besoin de climatisation baisse de -10.6% soit -8.89 $\text{kWh/m}^2\cdot\text{an}$.

- **Effet du prospect**

Une augmentation de la valeur du prospect réduirait le besoin de la climatisation directement de -11.6% soit -0.76 $\text{kWh/m}^2\cdot\text{an}$. Son effet indirect généré par l'intermédiaire du taux de vitrage est très faible, -6% par écart type (2.046) soit -0.393 $\text{kWh/m}^2\cdot\text{an}$. L'estimation de l'effet total du prospect est de -1.15 $\text{kWh/m}^2\cdot\text{an}$.

5.7.3. Modèle global

5.7.3.1. Indices d'ajustement

Le modèle global regroupant à la fois la demande énergétique pour le chauffage et la climatisation répond à tous les critères d'ajustement, tel que présenté dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5- 33 : Indices d'ajustement du modèle de la demande énergétique pour le chauffage et la climatisation

	<i>df</i>	χ^2	Niveau de probabilité	RMSEA	NFI	CFI
Modèle global	12	8.517	0.744	0.000	0.968	1.000

L'influence des variables les unes sur les autres est représentée sur le tableau et la figure ci-dessous. La première lecture du tableau nous permet d'identifier l'importance de la résistance thermique des murs extérieurs qui permet de donner effet à l'orientation, au taux de vitrage, à la résistance thermique de planchers et au type de fenêtre (Uw).

Tableau 5- 34 : Effets directs globaux. Source : S.Boukarta

			Estimation	Pvalue
Compacité	<---	Résistance thermique des Planchers	0.726	***
Type_de_vitrage	<---	taux_de_vitrage	-0.161	0.131
Type_de_vitrage	<---	Orientation	-0.175	0.10*
Type_de_vitrage	<---	compacité	-0.216	0.044**
Résistance thermique des murs	<---	Orientation	0.365	***
Résistance thermique des murs	<---	taux_de_vitrage	0.229	0.022**
Résistance thermique des murs	<---	Résistance thermique des Planchers	0.203	0.047**
Résistance thermique des murs	<---	Type_de_vitrage	-0.158	0.114
prospect	<---	taux_de_vitrage	-0.199	0.064*
IPE Total (Kwh/m².an)	<---	prospect	-0.093	0.033**
IPE Total (Kwh/m².an)	<---	Résistance thermique des murs	-0.703	***
IPE Total (Kwh/m².an)	<---	Type_de_vitrage	0.366	***
IPE Total (Kwh/m².an)	<---	compacité	-0.185	***

***Significatif au niveau 0.001

** Significatif au niveau 0.05

* Significatif au niveau 0.1

Le tableau ci-dessous présente les effets directs, indirects ou latents et totaux des variables explicatives. La résistance thermique des murs extérieurs a l'effet le plus important et le prospect est la variable ayant le moindre effet sur la demande énergétique.

Tableau 5- 35 : Les effets direct, indirect et total des variables explicatives de la demande énergétique totale.

	Effet	Compacité	Type de vitrage	Prospect	Résistance thermique des murs	IPE Total
Résistance Plancher	Direct	0.726	0.000	0.000	0.203	0.000
	Indirect	0.000	-0.157	0.000	0.025	-0.352
	Total	0.726	-0.157	0.000	0.228	-0.352
compacité	Direct	0.000	-0.216	0.000	0.000	-0.185
	Indirect	0.000	0.000	0.000	0.034	-0.103
	Total	0.000	-0.216	0.000	0.034	-0.288
taux de vitrage	Direct	0.000	-0.161	-0.199	0.229	0.000
	Indirect	0.000	0.000	0.000	0.025	-0.219
	Total	0.000	-0.161	-0.199	0.254	-0.219
Orientation	Direct	0.000	-0.175	0.000	0.365	0.000
	Indirect	0.000	0.000	0.000	0.028	-0.340
	Total	0.000	-0.175	0.000	0.393	-0.340
Type de vitrage	Direct	0.000	0.000	0.000	-0.158	0.366
	Indirect	0.000	0.000	0.000	0.000	0.111
	Total	0.000	0.000	0.000	-0.158	0.477
prospect	Direct	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.093
	Indirect	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Total	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.093
Résistance thermique des murs	Direct	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.703
	Indirect	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Total	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.703

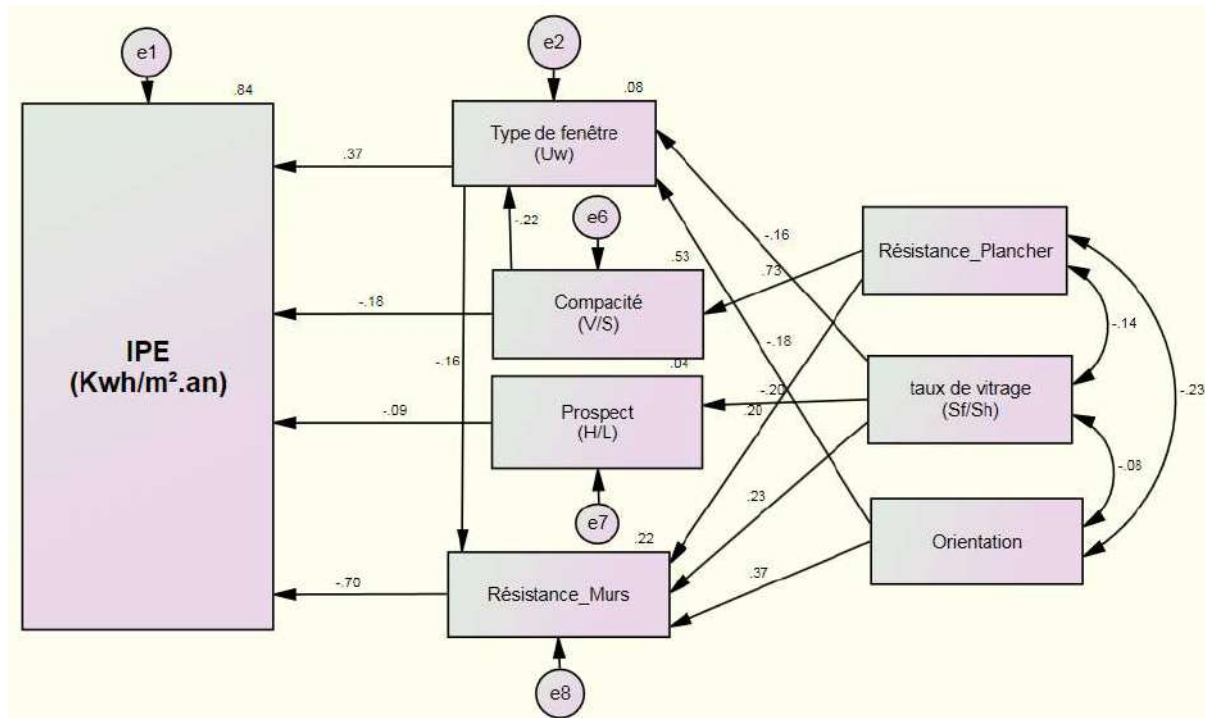


Fig 5- 36 : Résultats de la régression des variables dans le modèle.

5.7.3.2. Discussion des résultats

- **Effet de la résistance thermique des murs extérieurs**

La résistance thermique des murs extérieurs a l'impact le plus important sur la demande énergétique pour le chauffage et la climatisation (toutes sources confondues d'énergie). Soit pour chaque 1 m².k/w de plus de résistance thermique appliquée aux murs extérieurs, la demande énergétique baisse de 20.81kWh/m².an, soit 5.22 kWh/m².an par personne.

- **Effet du prospect**

Le prospect a l'effet le plus faible sur la demande énergétique. Son effet est positif sur la demande énergétique, pour chaque 1 unité de prospect de plus, la demande énergétique de l'habitation baisse de -1.53 kwh/m².an.

- **Effet du type de fenêtre**

L'effet indirect du type de fenêtres caractérisées par la valeur d'Uw a un effet positif sur la demande énergétique globale estimée de -2.40 kWh/m².an pour chaque 1w/m².k de moins appliqué aux fenêtres. Directement l'effet du type de fenêtre est presque trois fois plus important que l'effet indirect, et il est estimé à -7.87 kWh/m².an pour chaque unité de Uw (1w/m².k) de moins. Globalement, améliorer la résistance thermique des fenêtres peut générer une baisse de la demande énergétique de 47.7% par écart type (1.57 w/m².k) de moins, soit -10.27 kwh/m².an pour chaque unité d'Uw de moins.

- **Effet de l'orientation**

L'effet de l'orientation ne s'opère que indirectement, à travers le type de fenêtre et la résistance thermique des murs. La différence de la demande énergétique entre une orientation de l'axe Nord-Sud et une orientation Est-Ouest (de 0 à 90°) provoque la baisse de la demande énergétique de -9.52 kWh/m².an.

- **Effet du taux de vitrage**

Le taux de vitrage trouve effet à travers le type de fenêtre, la résistance thermique des murs et le prospect, et la valeur est d'autant plus négative que la valeur d'Uw et le prospect baisse, et la résistance thermique des murs extérieurs augmente. La valeur de l'effet s'élève à 21.9% par écart type (8.09%), soit pour un taux de vitrage de 10% la demande énergétique baisse de -9.16 kWh/m².an.

- **Effet de la compacité**

La compacité a un effet direct estimé à -18.5%, soit pour chaque 0.2 de plus en compacité (V/S) la demande énergétique pour le chauffage et la climatisation baisse de -8.33 kWh/m².an. Indirectement et à travers la qualité thermique des fenêtres, la compacité opère un effet de -10.3% pour une valeur de 1.23 w/m².k (Uw), soit -4.33 kWh/m².an pour chaque 0.2 de compacité de plus. L'effet total est alors de -12.66 kWh/m².an pour chaque augmentation de 0.2 de compacité.

- **Effet de la résistance thermique des planchers**

La résistance thermique a deux effets latents opérant à travers la résistance thermique des murs extérieurs et la compacité. Elle est estimée à -35.2%, soit pour chaque amélioration de 1 m².k/w de résistance thermique de plus, la demande énergétique pour le chauffage et la climatisation baisse de 11.31 kWh/m².an.

5.8. Synthèse des effets et classement des variables explicatives du modèle

Dans cette deuxième partie du chapitre, nous avons exploré l'importance de sept variables souvent utilisés par les architectes lors de la phase conception des projets architecturaux. L'effet de l'occupant a été fixé et une campagne de cent simulations a été lancée, en tirant d'une façon aléatoire les variables afin de maximiser les chances de combinaisons. La demande énergétique pour le chauffage et la climatisation et totale sont ensuite explorées en s'appuyant sur trois étapes : une corrélation bi-variée, une analyse en composante principale et enfin une modélisation par équation structurelle (MES) pour confirmer ou infirmer les pistes de causalités potentielles identifiées à travers les deux premières étapes de l'analyse. (voir figure ci-dessous)

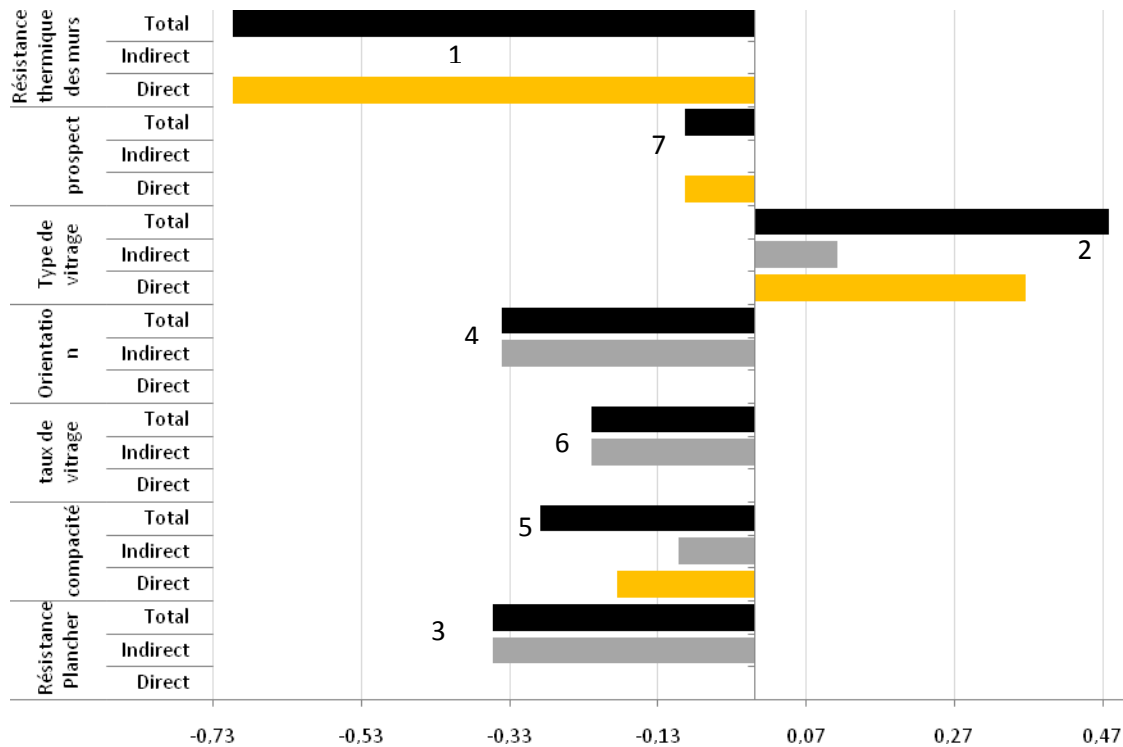


Fig 5- 37 : Effet direct, indirect et total des variables explicatives. Source : S.Boukarta

La modélisation par équation structurelle nous a permis d'explorer et de confirmer certaines pistes de causalité et d'en infirmer d'autres. Les interrelations confirmées des variables choisies entre elles permettent d'identifier une structuration et un seuillage des effets de ces variables, impactant la demande énergétique pour le chauffage et la climatisation.

Ce qui ressort principalement de cette analyse, c'est le rôle structurant de la qualité de l'enveloppe, notamment celle des murs extérieurs. Nous la découvrons comme une variable dont l'amélioration peut avoir un effet direct sur la maîtrise de l'énergie, que ce soit pour le chauffage ou la climatisation, mais aussi comme variable intermédiaire à travers lequel d'autres variables pourront ainsi réduire la demande énergétique, à savoir, le taux de vitrage, l'orientation, la résistance thermique des planchers et la qualité thermique des fenêtres. Si l'on essaie de classer les registres d'analyse adoptés au niveau du troisième chapitre (la forme, l'environnement et l'enveloppe), l'enveloppe est classée alors en la première position, l'environnement (prospect et orientation cumulés) et la forme (compacité) arrivent respectivement en deuxième et troisième position. Le rôle de la compacité perd son importance devant une bonne isolation de l'enveloppe du bâtiment considéré.

Enfin, la présente étude ne prend pas en considération le risque de condensation et la formation potentielle de l'effet de thermos associé souvent aux fortes isolations et traitée par l'installation appropriée d'une ventilation mécanique contrôlée (VMC). L'augmentation ou la baisse dans la demande énergétique due à la VMC n'affecteront pas pour autant outre mesure les connaissances obtenues jusque-là.

Conclusion du Cinquième Chapitre

Dans les deux parties de ce chapitre, nous avons exploré le potentiel de maîtrise de l'énergie d'une batterie d'indicateurs considérée à deux échelles différentes, celle de la commune et l'autre à l'échelle du bâtiment.

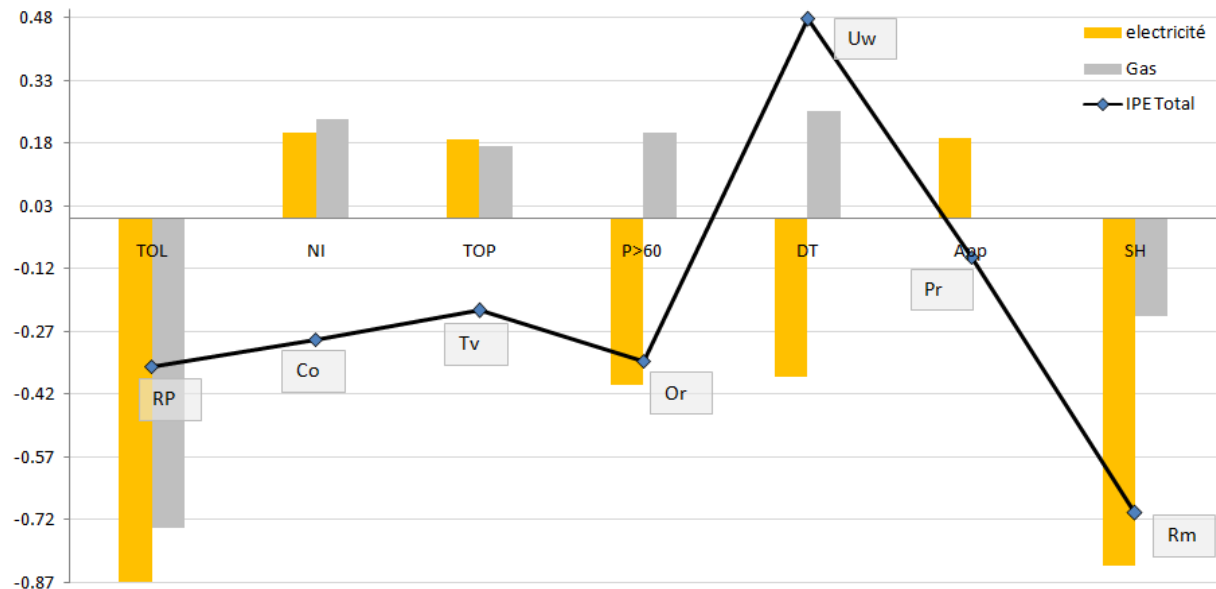


Fig 5- 38 : Comparaison entre les effets des variables explicatives à l'échelle des communes avec effet de l'occupant, et à l'échelle du bâtiment sans effet de l'occupant. Avec : TOL : Taux d'occupation par logement, NI : Niveau d'instruction, TOP : taux d'occupation par pièce, P>60 : personnes âgées de plus de 60 ans, DT : Densité de population, App : taux d'équipement, SH : surface habitable. Rp : Résistance thermique des planchers, Co : Compacité, Tv ; taux de vitrage, Or : Orientation, Uw : coefficient de transmission des fenêtres, Pr : Prospect, Rm : Résistance thermique des murs extérieurs. Source : S.Boukarta

A travers des *proxys* tels que le taux d'occupation par logement, par chambre, le niveau d'instruction et le taux d'équipement, etc, l'effet de l'occupant a été introduit à l'échelle des communes. Cependant et à travers la même échelle, l'effet de l'âge du bâtiment et le type d'habitation se sont révélés sans effet dans le modèle, car l'urbanisation de la ville de Djelfa s'est faite principalement en phase post-indépendance ce qui rend pratiquement similaire la composition de l'enveloppe des habitations.

Dans la deuxième partie du chapitre, nous avons considéré l'effet de l'occupant comme fixe et nous n'avons fait varier, à travers une approche paramétrique, que les variables explicatives considérées à l'échelle du bâtiment et souvent utilisées par les architectes dans la phase conception du projet. Idem que pour l'échelle de la commune, une modélisation par équation structurelle est conduite afin de confirmer ou infirmer nos hypothèses de causalité identifiées par l'analyse de corrélation bi-variée et l'analyse en composante principale. La modélisation par équation structurelle nous a révélé le rôle structurant de la qualité de l'enveloppe dans l'amélioration des performances thermiques et la maîtrise de l'énergie. Comme réponse à la question de qui des registres est le plus important dans l'équation de maîtrise d'énergie : le bâtiment ou l'occupant ?, à travers une comparaison portée sur le même graphe des effets totaux identifiés pour le bâtiment et ceux à l'échelle de la commune, il nous est apparu clairement que les deux effets semblent avoir des portées presque égales par variable. Par exemple, le taux d'occupation par logement et la résistance thermique des murs extérieurs, l'orientation et le taux des personnes âgées de plus de 60 ans, ou encore le taux

d'occupation par chambre et le taux de vitrage (voir figure-dessus). Ces résultats ne sont considérés qu'à titre indicatif, car comme on l'a déjà vu en état de l'art et dans la première partie du présent chapitre, dans les mêmes conditions et normes de construction, le rôle du bâtiment devient faible voir insignifiant, et le rôle de l'occupant avec ces caractéristiques socio-économiques devient important et structure du fait la demande énergétique. La comparaison entre les deux registres, avec ou sans occupant, doit être considérée en termes de potentiel de maîtrise d'énergie possible à réaliser à travers la compréhension des interrelations que tissent les variables explicatives entre elles, et que les décideurs et les autorités publiques ont à considérer lors de la conception de la politique de maîtrise de l'énergie.

Le bâtiment est certainement un important secteur expliquant la consommation d'énergie finale en Algérie selon les résultats obtenus. La deuxième catégorie de la forme urbaine mentionnée dans le premier modèle initial (voir figure 3-24, voir aussi ci-dessous), la mobilité constitue aussi un important secteur de consommation. Enfin, le tissu urbain de part les systèmes qui le composent (système bâti, viaire, parcellaire et système des espaces libre) permet de structurer les pratiques de consommation de l'énergie dans le secteur des habitations et celui de la mobilité.

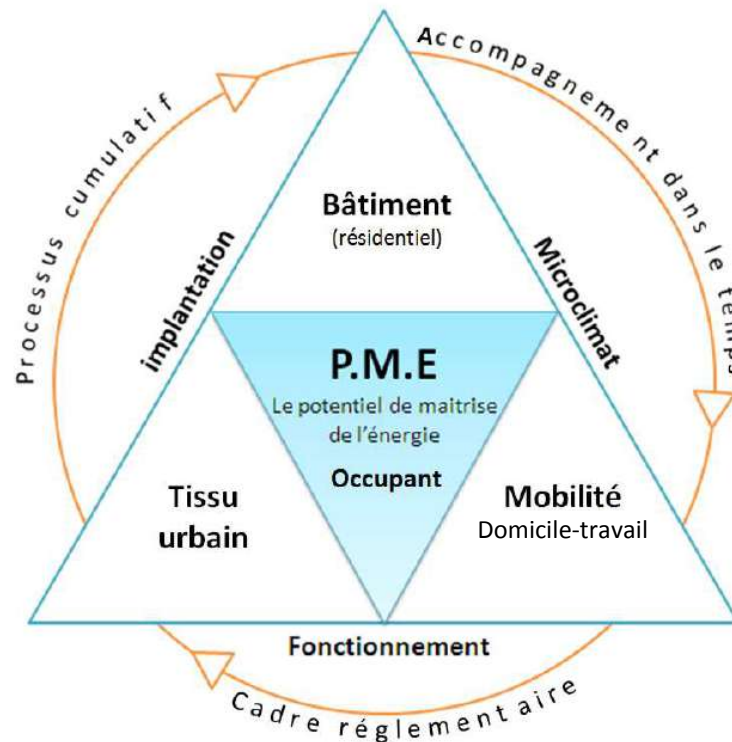


Fig 5- 39 . Modèle général expliquant le potentiel de maîtrise de l'énergie des formes urbaines. Source : S.Boukarta

Dans le chapitre suivant, nous allons concentrer notre attention sur la commune de Djelfa, dans laquelle la consommation d'énergie est la plus faible par ménage et pour laquelle nous tâcherons à identifier le potentiel de maîtrise de l'énergie à l'échelle de l'occupant, pour identifier la consommation d'énergie induite par la mobilité.

Nous avons été contraints par la non-disponibilité des données pour cette partie de recherche, c'est pourquoi nous avons procédé à une enquête-ménage par questionnaire fermé en vue d'en collecter les informations nécessaires, qui pourraient nous orienter, par le truchement des analyses, à explorer les paramètres potentielles pouvant impacter la mobilité domicile-travail.

6

CHAPITRE 6. POTENTIEL DE MAITRISE DE L'ENERGIE PAR LA MOBILITE A DJELFA

Le présent chapitre tend à identifier le potentiel de maîtrise de l'énergie des formes urbaines sous l'optique de la mobilité domicile-travail et à l'échelle de la commune de Djelfa, chef-lieu de la wilaya. Etant donné que les statistiques du RGPH (2008) ne sont disponibles qu'à l'échelle municipale, et les données de la mobilité domicile-travail ne sont pas disponibles, nous avons dû passer par une enquête conduite par questionnaire fermé afin de collecter les données nécessaires à notre recherche. A partir des données de l'enquête, nous avons appliqué la méthode d'analyse de sensibilité, comme exposé dans la deuxième partie de la thèse. En tout, 4 modèles expliquant la part modale des 3 moyens de déplacement et la consommation d'énergie induite par la mobilité seront exposés dans le présent chapitre. Pour commencer, on procédera dans un premier temps à une présentation succincte du développement de la commune de Djelfa qu'il sera nécessaire de connaître pour nos développements ultérieurs.

6.1. Développement de la commune de Djelfa

Après la première installation des Français à l'aube des années 1960, la ville a connu, à partir des années 1870, une forte pression démographique due à la sédentarisation des populations nomades. Un nouveau pôle fut alors réalisé pour recevoir la population européenne. Il constitue aujourd'hui le centre-ville de la commune de Djelfa. La population nomade commença à se sédentariser autour des remparts dès les années 1900, à cause de la présence du marché (*Le souk*) et encore plus avec l'arrivée du train en 1921. La gare ferroviaire réalisée alors a participé activement au développement socio-économique de la ville de Djelfa. Le développement de la ville s'est fait ensuite selon l'axe Nord-Sud jusqu'à 1945 (Benhouhou : 2012 : 101). La population européenne s'est implantée à l'est de la ville dans les quartiers Eldil Eldjamil et Hai Elmoustachfa, alors que la population locale occupait la partie ouest de la ville, dans les quartiers cités Guennani, porte de Charef et Ain Chih (Rebiai : 2014 : 46). La pression démographique pesa tant autour des remparts que leur démolition en 1960 est devenue une condition pour que la ville de Djelfa puisse se développer et contenir la pression démographique. La croissance urbaine s'est alors libérée et s'est développée dans tous les sens, sous forme de tâche d'huile (Bachar : 2015).

La ville de Djelfa est annexée à la ville de Médéa dès l'indépendance jusqu'à 1974, ensuite elle devient une wilaya à part entière. Ce nouveau statut conféra à la ville plus de moyens pour réaliser les infrastructures nécessaires pour accueillir davantage de population. Ce rythme s'est accéléré avec

la programmation de zones d'habitation urbaines nouvelles (ZHUN) dans la période s'étalant de 1973 à 1997 (Benhouhou : 2012) et la barrière de Oued Mellah est dépassée. Aujourd'hui la ville de Djelfa se trouve contrainte par la présence montagneuse au nord et la zone industrielle au sud freinant ainsi ce développement selon l'axe nord-sud, et dirige davantage sa dynamique d'urbanisation selon l'axe Est-Ouest, conformément aux orientations du PDAU. La figure ci-dessous montre la genèse de la ville et corrobore la logique conjoncturelle dans la formation de la ville, dont l'implantation première s'est faite pour contrôler toute la région, puis sous la pression d'une évolution démographique accentuée par l'exode rural, la ville s'est trouvée contrainte de répondre aux demandes grandissantes de logement.

6.1.1. Croissance spatiale et démographique de la ville de Djelfa

L'examen de la croissance urbaine, en considérant l'établissement initial de 1852-1860 comme unité de base pour observer le rythme du développement spatial, s'est révélé donc selon trois rythme : (i) le rythme de la période d'établissement, qui ne répondait qu'à la requête de la défense et du contrôle. Ce premier établissement constitue le centre de la ville actuelle et s'est développé dans un rayon de 350 mètres ; (ii) le développement de la ville de 1852 à 1958 a triplé, alors que dès la démolition des remparts (1960) jusqu'à 1981 la ville occupait déjà six fois plus le rayon initial. Avec la réalisation du programme d'habitat, la ville aujourd'hui fait 9 fois la taille de l'établissement initial. Les orientations du PDAU poussent encore les limites de la ville, pour que, finalement, avec l'urbanisation future, la ville de Djelfa atteigne spatialement 13 fois de plus son rayon initial de 1852. Il est à noter que la partie Est de la ville recevra plus d'urbanisation que la partie Ouest (Voir les figures ci-après).



Fig 6- 1 : Djelfa en image. Source : composé par auteur.

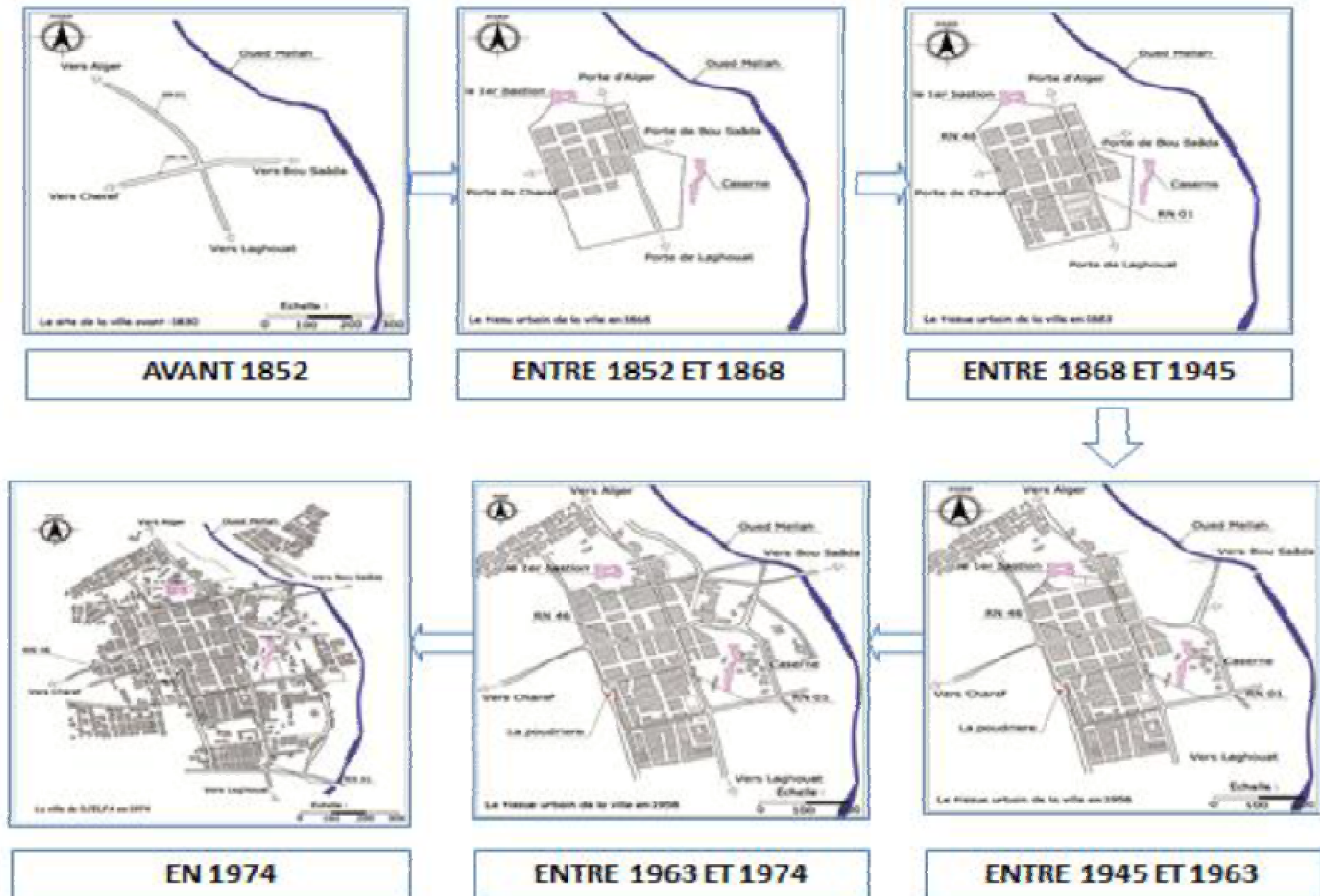


Fig 6- 2: Développement de la ville de Djelfa de 1852 à 1974. Source : PDAU (Phase 1). **Source** : Benhouhou et Aissaoui (2016 : 22).

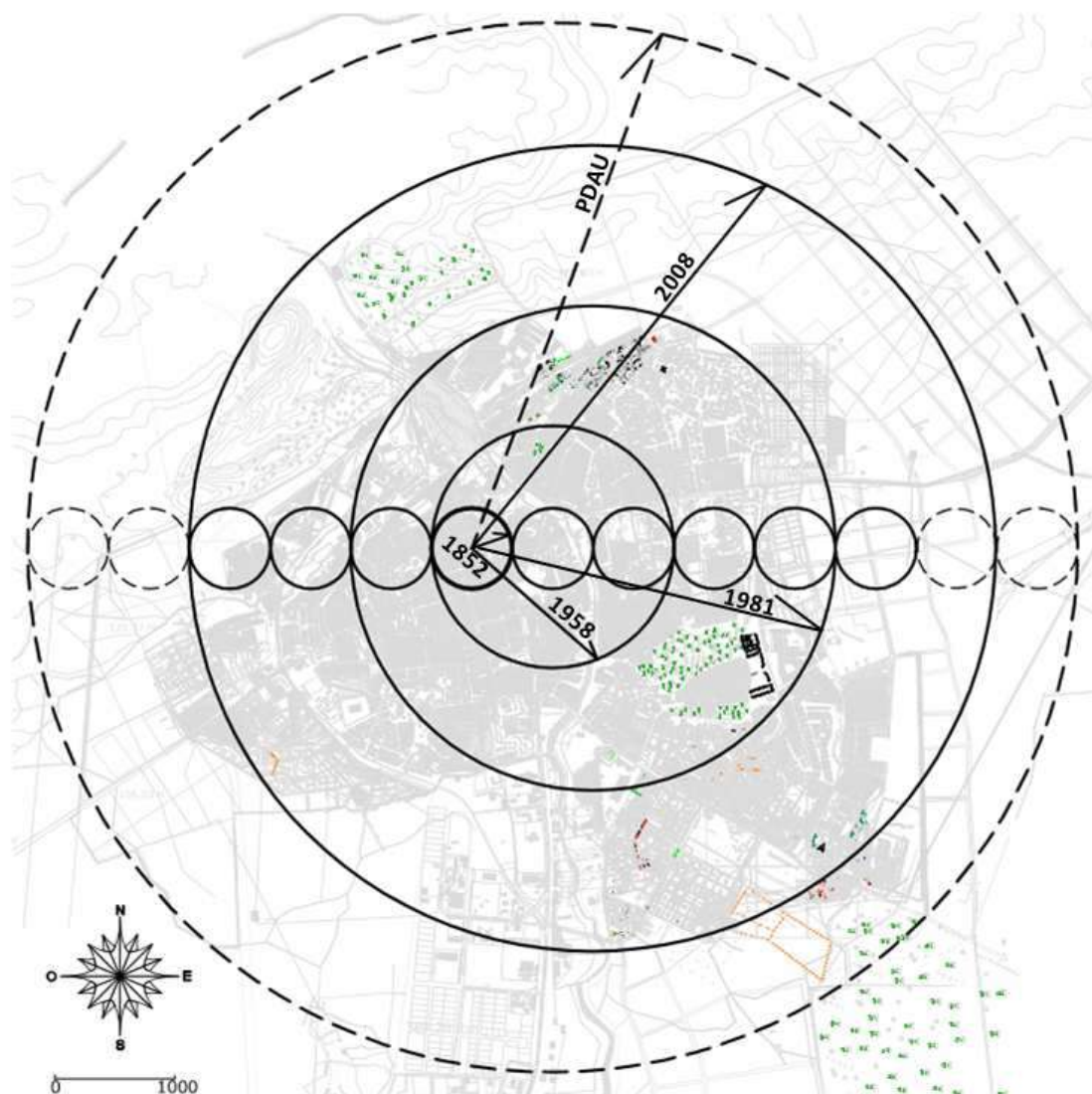


Fig 6- 3 : Croissance de la ville de Djelfa. Source : Boukarta à partir du PDAU de la ville de Djelfa (2009).

La rapide croissance urbaine en Algérie est globalement le fait d'une évolution démographique importante, mais dans la région des Hauts Plateaux, l'exode rural constitue aussi un facteur important poussant davantage la croissance urbaine (Bachar : 2015). L'examen de l'évolution démographique de Djelfa chef-lieu démontre et explique pleinement la dynamique urbaine. Djelfa chef-lieu comptait plus de 192 000 habitants en 2003, 215 000 en 2006 et près de 300 000 au dernier recensement de 2008, avec un taux d'accroissement annuel de 5.9%, qui est l'un des plus élevé du pays (Ons : 2011, Bachar : 20

15). La wilaya de Djelfa a, de même, enregistré une croissance démographique importante, en devenant ville millionnaire dès 2008 (Ons : 2011) et croit encore de 20% au bout de trois ans, soit 1.2 millions d'habitant en 2011, selon les données rapportées par l'Agence Nationale de Développement de l'Investissement (ANDI : 2013).

La population de la wilaya de Djelfa est très jeune, l'âge moyen en 2008 est de près de 30 ans et la population de moins de quinze ans représente près de 37% de la population totale. Djelfa le chef-lieu représente plus de 28% de la population totale de la wilaya. Le chef-lieu est la localité la plus attractive, car occupant une position centrale et comprenant les équipements et les infrastructures nécessaires pour la vie urbaine. L'accroissement naturel constitue le facteur principal de l'accroissement de la population, mais le rapport de l'ONS de 2011 met en exergue le phénomène de l'exode rural qu'a connu la ville pendant la création de la zone industrielle dans les années 1970 et pendant la décennie noire. Certaines communes, surtout celles du sud de la wilaya, ont enregistré un solde négatif entre 1998 et 2008 (voir figure ci-dessous).

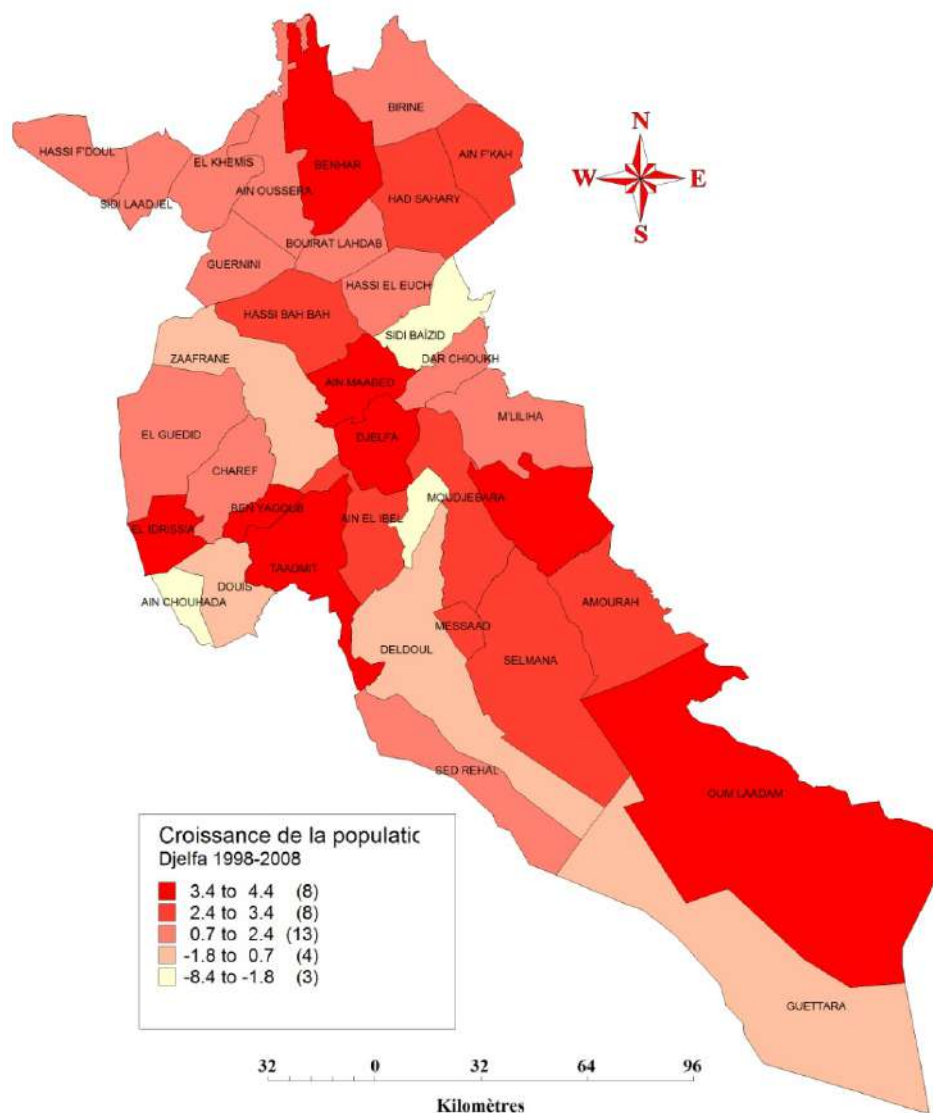


Fig 6- 4 : Croissance de la population entre 1998 et 2008. Source : Auteur sous Mapinfo à partir de données ONS (2011).

6.1.2. Types d'habitations

La croissance de la ville a été accompagnée par le développement de l'habitat individuel comme unité principale et de l'habitat collectif, qui ne cesse de se développer encore aujourd'hui. La tendance globale risque cependant de s'inverser dans les décennies à venir, si la croissance urbaine garde le rythme actuel. Pour voir le développement qu'a connu la ville entre 2008, l'année du

recensement, et 2015, l'année de notre enquête, nous avons analysé sous Google Earth avec une précision de 400*400 mètres toute la commune de Djelfa. Et comme la ville est de fondation coloniale, nous nous sommes inspirés des types d'habitat identifiés par S.Salat (2011) (voir figure ci-dessous). L'intérêt de cette approche est dans le fait qu'elle regroupe les types en deux grandes classes, individuelles et collectives, puis, sur la base de la continuité horizontale et verticale, les sous-types sont construits. On aura alors : l'habitat individuel (lotissement), individuel identique, type villageois et le continu bas qu'on retrouve généralement dans les centres des villes moyennes fondées dans la période coloniale en Algérie. L'habitat collectif est distingué selon qu'il est continu haut, ou discontinu. Tous les types sont présents dans notre aire d'étude, à l'exception du type villageois qui existe en périphérie de l'agglomération urbaine de la commune. Aussi, nous avons ajouté le type d'habitat individuel très compact, car observé dans notre aire d'étude.

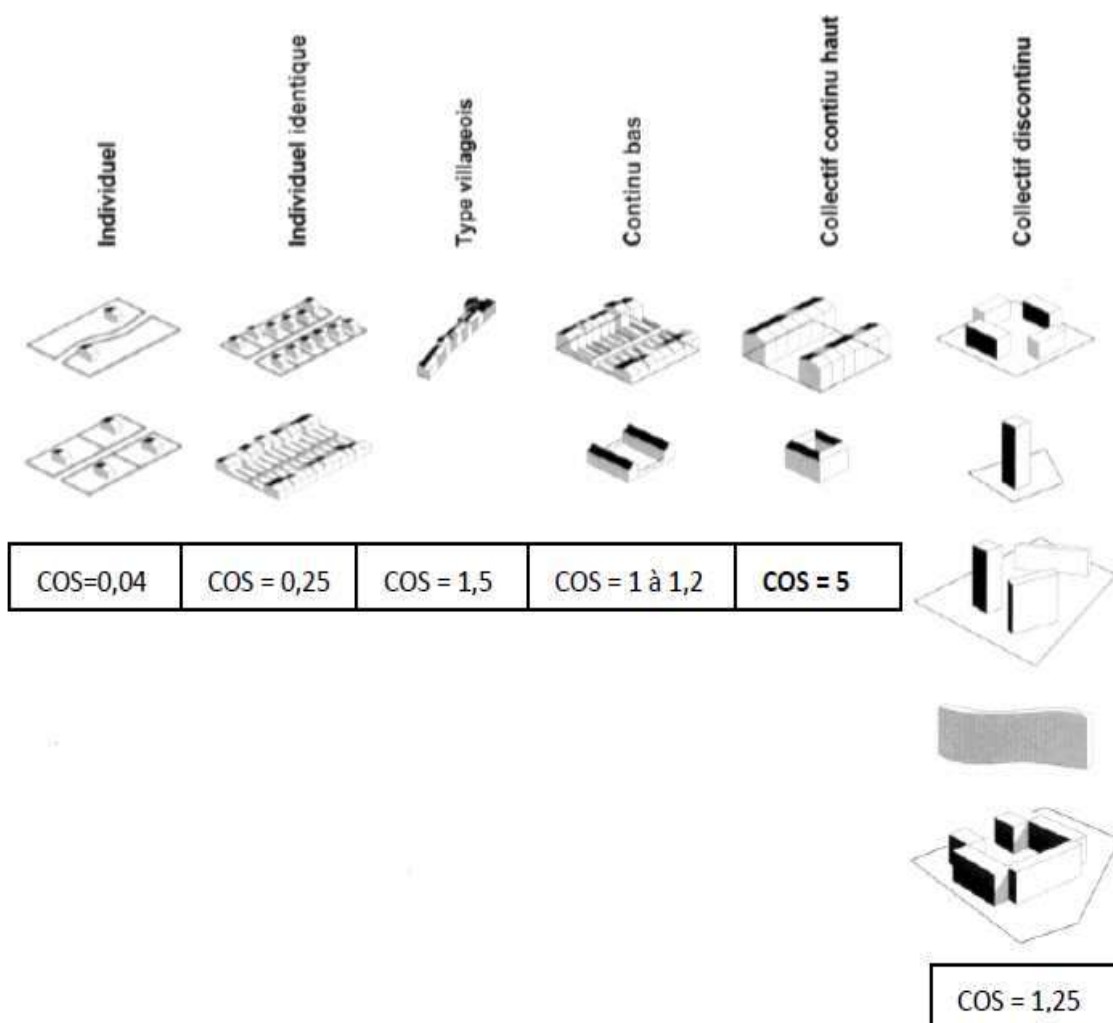


Fig 6- 5: Types d'habitations selon le classement de Salat (2011).

La figure ci-dessous présente les types d'habitations ainsi identifiés. L'individuel occupe 70% de l'agglomération urbaine de la commune, et le collectif, actuellement construit, occupe près de 40 % la surface de la ville. L'habitat collectif est concentré principalement au niveau des nouveaux quartiers, tel que Djelfa El Djadida.

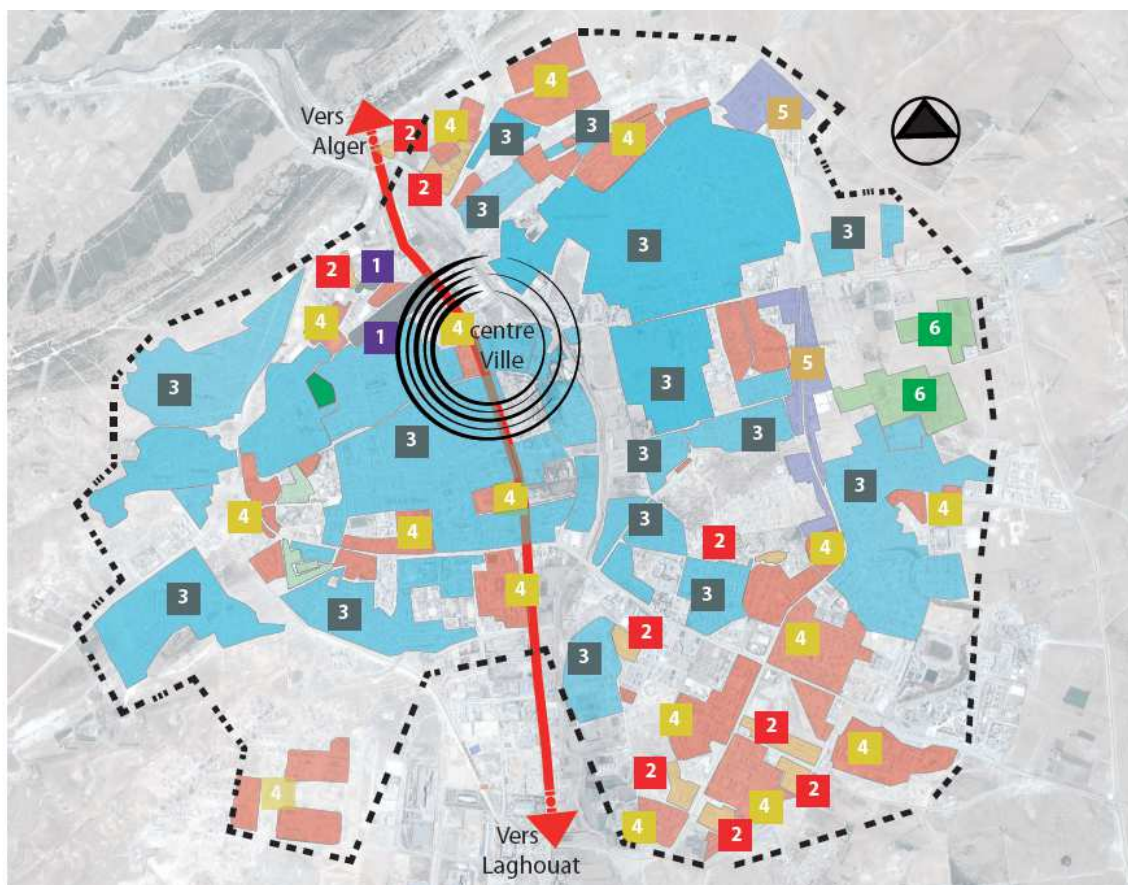


Fig 6- 6: Types d'habitations dans la commune de Djelfa. Source auteur. Avec : 1 : Habitat individuel très compact, 2 : habitat individuel identique, 3 habitat individuel de type lotissement, 4, habitat collectif discontinu, 5 : habitat collectif continu haut, 6 : habitat villageois. La ligne discontinue représente l'aire d'étude. Source : S.Boukarta

La part de l'habitat individuel avec ses types domine dans la ville de Djelfa avec près de 70 % du parc immobilier. L'habitat collectif vient en seconde position avec près de 30 %. Cependant, cette répartition connaîtra un changement, car l'Est comme l'Ouest de la ville abrite déjà des grands chantiers pour la construction de l'habitat qui est majoritairement de type collectif discontinu. Cette tendance a déjà créé une ségrégation en termes de connectivité du système viaire.

6.1.3. Connectivité du système viaire de la commune de Djelfa

En se basant sur les indicateurs identifiés dans le chapitre 4 de l'état de l'art, nous avons analysé la connectivité du système viaire de la ville de Djelfa en traçant un axe allant du nord-est de la ville vers le sud-est tout en traversant Oued Mellah. La direction de l'axe est choisie selon la croissance actuelle et future de la ville, le nord étant bloqué par la présence montagneuse et le sud de la ville par une barrière artificielle matérialisée par la zone industrielle. Le long de cet axe, nous avons tracé dix cercles à 400 mètres de rayon. Ces cercles ont la surface moyenne d'un quartier, qui est de 800*800 mètre (Salat : 2011). Puis pour chaque cercle nous avons compté le nombre de liens et des nœuds. Puis nous avons calculé les six indices de connectivité et qui sont : le nombre cyclomatique représentant le nombre de cycle indépendant ; l'indice α qui décrit le potentiel de l'aire d'étude en terme de nombre cyclomatique ; l'indice β qui décrit la connectivité du système viaire ; l'indice γ décrit le potentiel en terme de lien. Et enfin les indices de densité, des nœuds et des liens (Voir la figure ci-dessous).

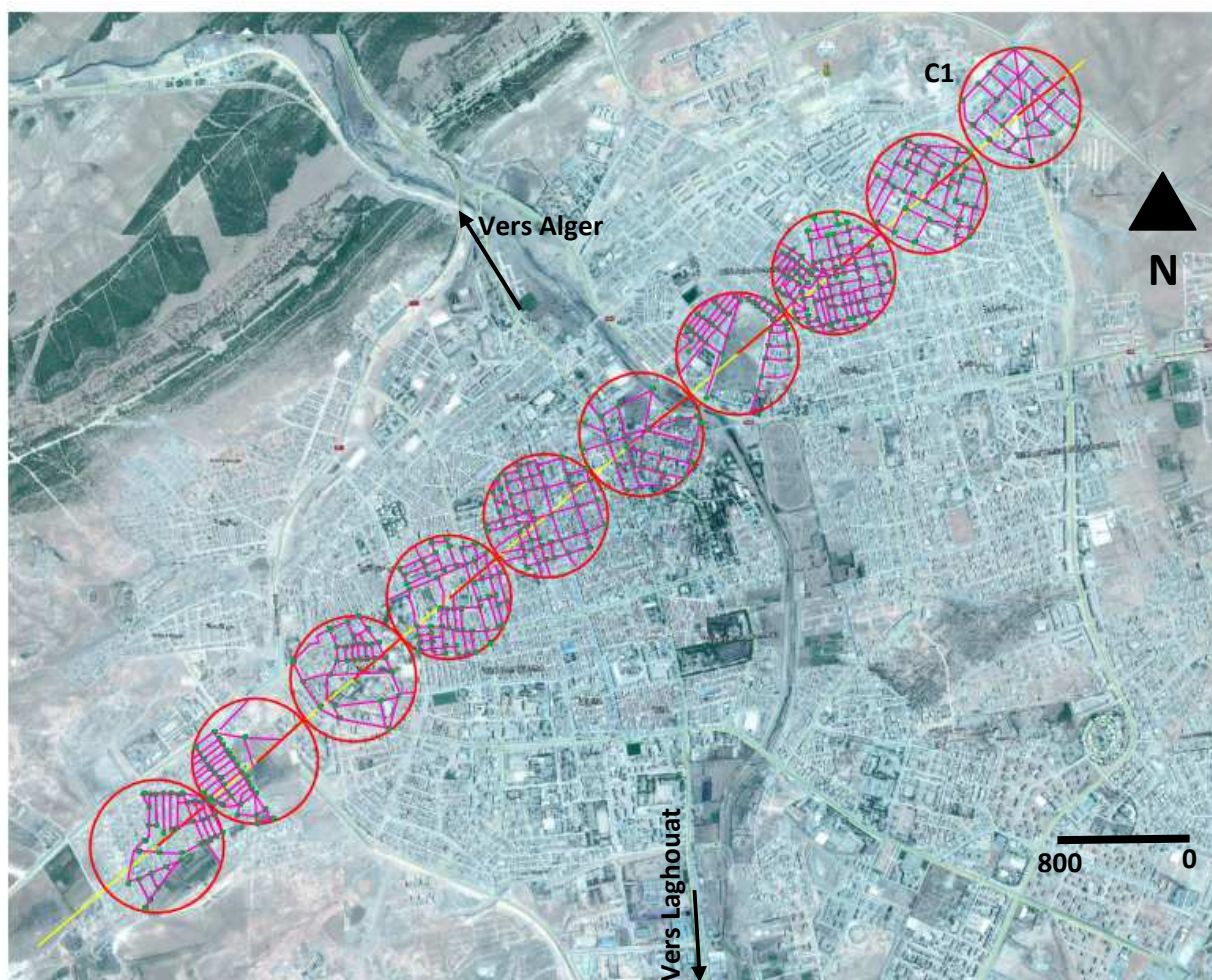


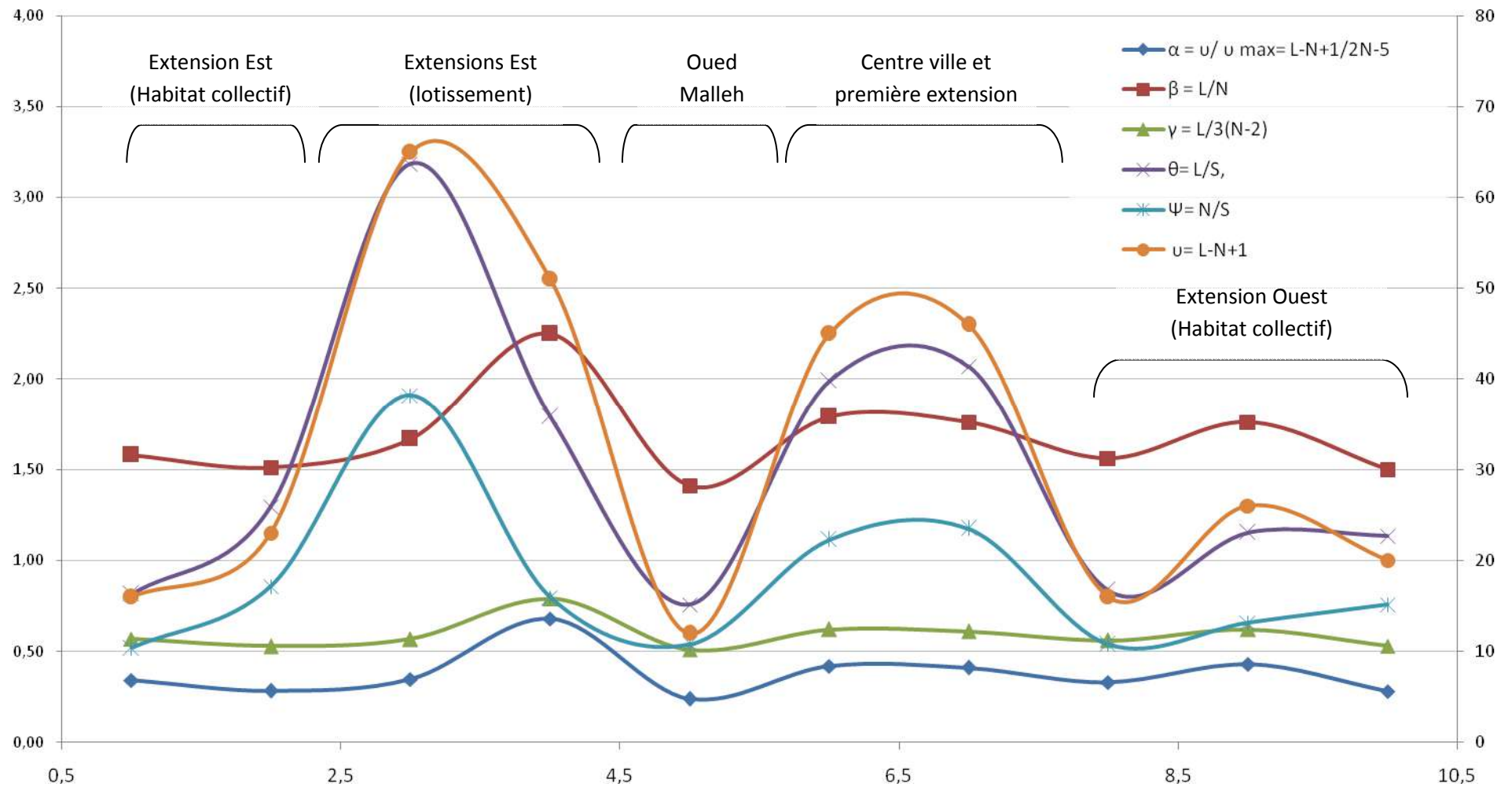
Fig 6- 7 : Les 10 rayons de 400 mètres choisis pour le calcul des indicateurs de connectivité. Source : S.Boukarta sur le support Google earth professionnel (2015).

Les résultats des calculs sont présentés dans le tableau ci-dessous. Pour mieux visualiser les résultats, un graphe est présenté sur la page suivante et dont la lecture est la projection spatiale des extensions du noyau historique.

Tableau 6- 1 : Résultats des calculs des indices de connectivité. Source : S.Boukarta

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
Indice α	0,34	0,28	0,35	0,68	0,24	0,42	0,41	0,33	0,43	0,28
Nombre Cyclomatique u	16	23	65	51	12	45	46	16	26	20
Indice de connectivité β	1,58	1,51	1,67	2,25	1,41	1,79	1,76	1,56	1,76	1,50
Indice γ	0,57	0,53	0,57	0,79	0,51	0,62	0,61	0,56	0,62	0,53
Densité des liens θ	0,82	1,29	3,18	1,79	0,76	1,99	2,07	0,84	1,15	1,13
Densité des nœuds ψ	0,52	0,86	1,91	0,80	0,54	1,11	1,17	0,54	0,66	0,76

Les six indicateurs sont projetés de la sorte que la meilleure connectivité est observée à travers les 6 indicateurs comme étant au centre-ville de Djelfa et la première extension Est après Oued Mellah. En allant vers l'est comme à l'ouest, la connectivité baisse et touche ses valeurs basses au niveau des extensions nouvelles caractérisées principalement par une dominance d'habitat collectif discontinu.


 Fig 6- 8 : Indices de connectivité de la ville de Djelfa. Le nombre cyclomatique U se lit sur l'axe secondaire à droite du graphe. Source : S.Boukarta

Le nombre cyclomatique U désignant le nombre de cycles indépendants atteint sa valeur maximale au niveau de l'extension Est de la ville avec 62 cycles indépendants. Il baisse à proximité d'Oued Mellah, puis la connectivité s'améliore au niveau du centre pour atteindre 46 cycles indépendants. Les deux extensions Est comme celle de l'Ouest sont caractérisées par un nombre cyclomatique inférieur à 20. L'indice α représentant le potentiel de nombre cyclomatique possible nous révèle une connectivité moyenne avec des indices de α inférieur et proche de 50 % pour toute la ville.

Aussi, la densité des liens comme celle des nœuds suit la même logique. On observe une densité allant de 2 à 3 lien/ha entre le centre-ville et l'extension Est, ce qui se traduit par 2 à 3 possibilités de changement de direction dans chaque zone de 100*100 mètres. La densité des liens baisse au niveau des extensions jusqu'à un et moins de un lien par Ha. Ainsi pour la densité des nœuds, de 1.2 à 1.9 nœuds par ha est observée dans le centre et l'extension Est et cette valeur baisse jusqu'à 0.5 nœuds par ha dans les nouvelles extensions à l'Est comme à l'Ouest de la ville.

L'indice de connectivité β exprime aussi la possibilité de changement de direction. Il est calculé par le ratio nombre de lien rapporté au nombre de nœud. Les valeurs maximales sont observées au centre et à l'extension Est, avec des valeurs allant de 1.8 à 2.2 liens par nœud par ha, alors qu'au niveau des extensions ils baissent jusqu'à 1.5. Dans la même lignée, l'indice γ indiquant le potentiel de connectivité affiche une connectivité allant de 62 à 80 % au niveau du centre et l'extension Est, alors que les extensions nouvelles n'enregistrent qu'une connectivité de 50 %. L'analyse de la connectivité du système viaire de la ville de Djelfa nous indique une régression de la connectivité en allant vers les nouvelles extensions à l'Est comme à l'Ouest, avec une variation de connectivité pouvant atteindre un facteur de trois.

Aussi, nos observations, nos déplacements dans la ville de Djelfa et la lecture du plan nous renseignent sur l'importance du centre-ville dans la ville, de par ses fonctions et sa position centrale, avec la route de la gare longeant du nord vers le sud la ville et la partageant en deux parties, à l'est et à l'ouest. Un volume important de déplacements semble alors passer par le centre-ville et la route de la gare, qui, elle, est caractérisée par la largeur importante de sa chaussée, ce qui lui confère, avec le centre, du moins en première lecture, un rôle structurant dans la ville de Djelfa, qu'il serait judicieux de considérer dans notre analyse de la mobilité.

6.2. Collecte des données liées à la mobilité résidentielle

Les données de la mobilité, pour notre cas d'étude, ont été obtenues à partir d'une enquête par questionnaire fermé. L'enquête a été organisée et réalisée durant le mois d'avril 2015.

6.2.1. Composition du questionnaire

Le questionnaire que nous avons développé comprend 4 modules : le module des **caractéristiques socio-économiques des ménages**, le module de la **mixité fonctionnelle** comprenant 10 catégories de fonctions, le module concernant les **caractéristiques des voitures** si elles existent et le module de **mobilité résidentielle**, contrainte et régulière Domicile-Travail, Domicile-Ecole (les quatre paliers) et le déplacement pour les loisirs et l'achat ou le shopping. (Voir Annexe pour le détail du questionnaire). A ces données collectées, nous avons ajouté la distance au centre-ville et la distance à la route de la gare pour vérifier leurs pertinences quant à leur rôle supposément structurant. Les distances ont été calculées à partir du système d'information géographique (SIG) (voir figures ci-dessous).

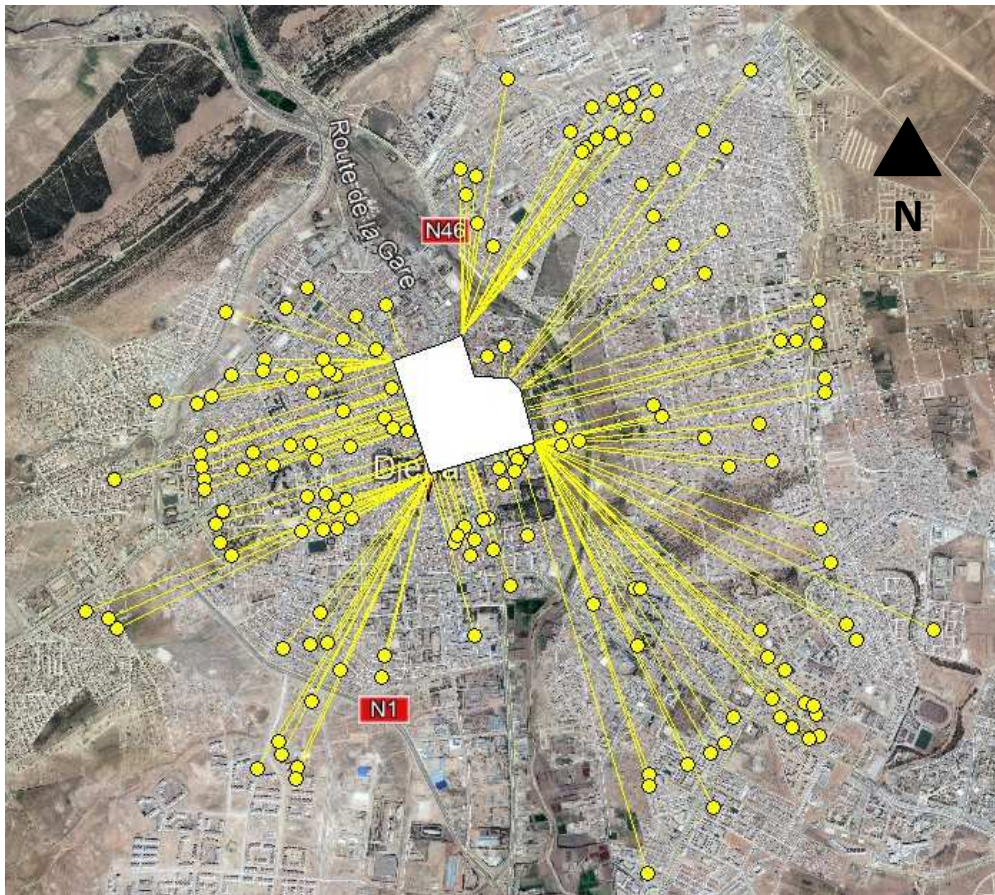


Fig 6- 9 : Calcul des distances Domicile-Centre-ville. Mapinfo 8.0, sur support Google earth professionnel (2015).

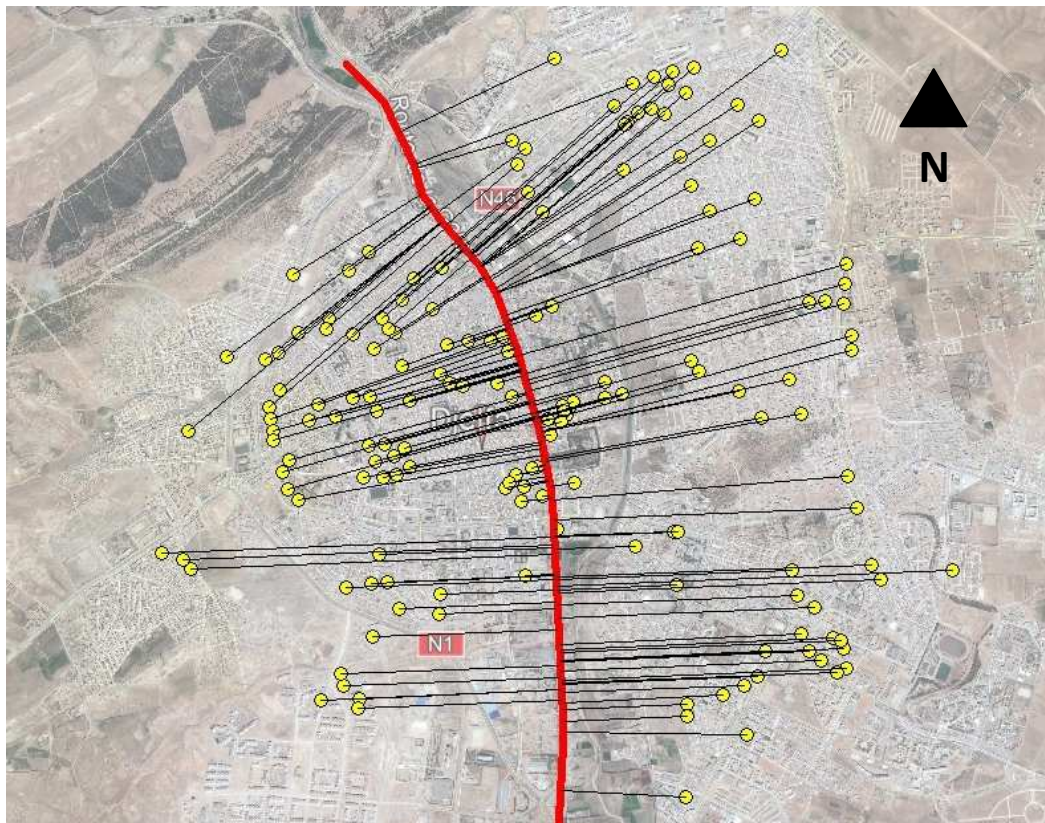


Fig 6- 10 : Calcul des distances Domicile-Route de la gare. Source : S.Boukarta. Mapinfo 8.0, sur support Google earth professionnel (2015).

Aussi, nous avons calculé la densité bâtie à travers le Coefficient d'occupation au sol et le Coefficient d'emprise au sol, la surface d'un îlot-type dans les quartiers touchés par l'enquête. Nous n'avons pas pu calculer la densité de population car le nombre de population par quartier n'est pas disponible.

6.2.2. Déroulement de l'enquête

Avant de partir à Djelfa pour l'enquête, nous avons préparé notre protocole d'enquête et récupéré les lettres d'introduction et de recommandation de notre laboratoire de recherche et de l'école. Nous ne connaissons personne dans ce territoire qui nous est inconnu, et malgré nos lectures sur la ville de Djelfa, l'accès aux enquêtés identifiés par l'analyse typologique nous a été difficile, la *figure de l'étranger* étant très fortement ancrée dans les quartiers de Djelfa, où demander aux ménages de répondre à nos questions se passait quasiment comme une intrusion. Aucune des questions pourtant ne relevait de l'ordre de confidentialité personnelle (le nombre des membres, le revenu, le lieu de travail, etc). Certaines personnes avaient même un comportement *peu ou prou* agressif quant aux réponses à nos questions. Devant cette attitude hostile, nous avons dû changer de méthode en engageant dans le processus un réseau de personnes de la ville de Djelfa. Pour ce faire, nous avons contacté Monsieur Kamel A., journaliste et président d'une association active dans le domaine de l'éducation. Ce contact nous a été d'une grande aide et nous a permis de circuler facilement dans les différents quartiers de la ville. Il nous a même permis d'entrer en contact avec des architectes, dont l'un (Monsieur Imed T.), et après lui avoir expliqué notre recherche, a accepté de nous apporter une aide précieuse en se déplaçant avec nous pour élargir la base de notre réseau d'enquêteurs. Ainsi et en tout, nous avons pu créer un réseau de 27 personnes, composé principalement d'architectes, d'étudiants, d'enseignants universitaires (notamment le chef de département Aménagement et le directeur des études du département du Droit) et des habitants des quartiers, que nous avons préparés à l'enquête.⁷¹ Nous avons commencé par un échantillon-test de 30 questionnaires grâce auquel nous avons observé et évalué le taux de retour et le taux de réponse par question.

Globalement, nous nous attendions au départ à un retour de 15 à 40 %, car c'est le taux de retour moyens trouvé dans les études de notre état de l'art et celui de notre test. Nous avons eu un retour de 42%, soit 300 questionnaires. Le premier dépouillement des questionnaires portait principalement sur l'identification spatiale des questionnaires réussis. Chaque questionnaire qui ne précisait pas les deux variables clés : le quartier de résidence et le lieu de travail, a été écarté sans suite de notre échantillon. Certains questionnaires comportaient aussi des réponses manquantes, nous les avons gardé et traité dans notre analyse avec la méthode Pairwise, afin de maximiser la puissance des modèles explicatifs développés. En tout, et après dépouillement de questionnaires, nous avons eu **184 questionnaires** utilisables. Le nombre d'échantillonnage recommandé par Field (2009) est de 100 sujets et plus, ou une variation de 10 par variable. Nous avons plus de 100 sujets et la variation par variables dépasse nettement 10. Aussi, dans notre état de l'art, nous avons constaté une variation importante entre les études en termes d'échantillonnage dépendant principalement de l'objet de l'étude. Dans notre cas, nous avons opté pour une représentativité spatiale de la sorte que les ménages, dans notre échantillon, soient répartis sur la quasi-totalité de la surface de la commune de Djelfa et dans notre échantillon, comme indiqué sur les deux figures *supra*, les ménages sont bien répartis spatialement.

⁷¹ La préparation consistait en l'explication de la structure et du contenu des questions et des objectifs visés.

La carte ci-dessous montre le maillage obtenu des déplacements domicile-travail. Deux grandes tendances de mobilité sont observables : une mobilité axiale du Nord-Est au Sud-Ouest, et selon l'axe Nord-Ouest et Sud-Est. Encore une fois, la route de la gare et le centre-ville semblent être importants dans la structuration de la mobilité Domicile-Travail. Aussi, la répartition de l'emploi dans notre échantillonnage est concentrée au centre et autour du centre. Les extensions nouvelles sont moins denses en termes de fonctions.

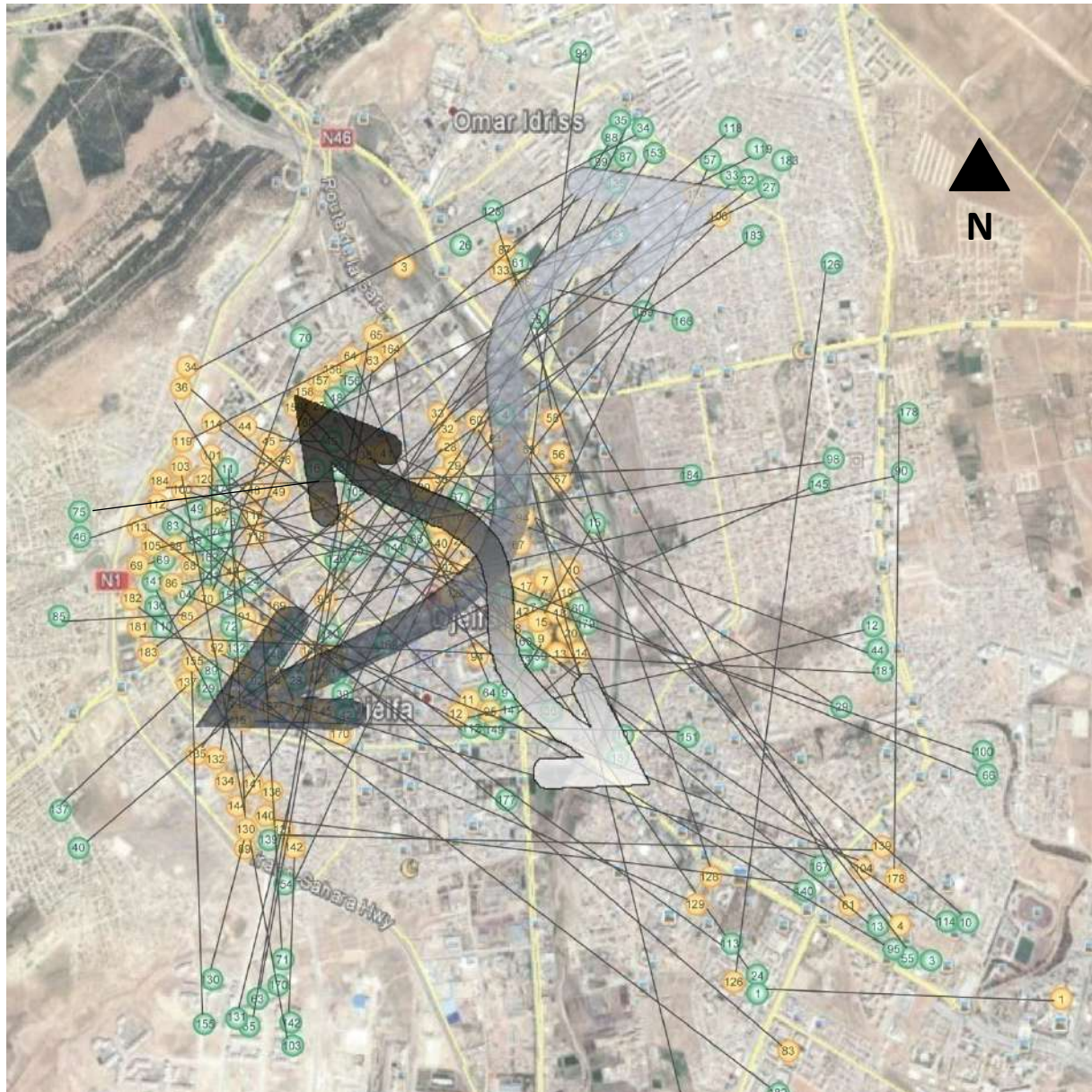


Fig 6- 11 : Maillage représentant les déplacements domicile-Travail. En vert, les habitations, et en jaune, les lieux de travail. Source : enquête 2015 réalisée par S.Boukarta. Réalisé sur le support Google earth professionnel (2015).

6.2.3. Descriptif des données obtenues

Les variables obtenues des questionnaires sont organisées sur la base du modèle identifié dans notre état de l'art en deux grands registres, l'environnement bâti et les caractéristiques socio-économiques des ménages. L'environnement bâti comprend les 5 D (Design, Densité, accessibilité de la Destination, Distance au TC et Diversité Fonctionnelle).

Le détail des données est présenté dans le tableau ci-dessous :

Tableau 6- 2 : Descriptif des variables de l'enquête sur la mobilité résidentielle. Source : S.Boukarta

Variabes	N	Type de variable	Minimum	Maximum	moyenne	Ecart type
Accessibilité						
Durée-aller (minutes)	175	continue	2	200	20,59	18,26
Distance domicile-travail (mètre)	162	continue	50	18000	2206,91	1966,96
Nombre de Rotation Bus	150	continue	0	3	1,20	,556
Densité						
Emprise au sol (CES) *	139	continue	,17	1,00	,59	,32
Densité bâti (COS) *	139	continue	,60	3,20	2,02	,74
Design						
Distance au centre (mètre) *	148	continue	17,59	2659,18	1219,54	696,57
Distance de la route de la gare (mètre) *	151	continue	25,62	2569,23	1163,83	629,94
Nombre moyen des niveaux (n) *	139	continue	2,00	6,00	3,79	1,08
Surface des îlots (m ²) *	139	continue	770	36061	7398,83	9150,32
Type d'habitat (1 : collectif, 2 : individuel)	184	Nominal	1	2	1,54	,50
Distance au TC						
Distance au TC (domicile) (0 : moins de 300, 4 : plus 1 km)	173	Ordinale	1,00	4,00	2,3237	,98
Distance à l'Arrêt de bus-travail (0 : moins de 300, 4 : plus 1 km)	172	Ordinale	0,00	4,00	1,6919	,97
Fréquence Bus	184	continue	0,00	5,00	2,4620	1,56
Diversité fonctionnelle						
Indice mixité fonctionnelle (de 5 à 40) *	175	continue	12	36	24,23	5,38
Caractéristiques socio-économique de l'occupant						
Age moyen ménage *	42	continue	16.33	43,80	27,1681	8,44
Age répondant	120	continue	27	70	43,95	10,82
Fréquence aller-retour	172	continue	1	4	1,66	,51
Niveau d'instruction famille	46	continue	2,00	5,00	3,5230	,77
Niveau d'instruction	174	Ordinale	0	4	3,26	1,06
Nombre de voiture	184	Continue	0	2	,60	,57
Profession (1 : public, 2 : libéral)	181	Nominale	1	3	1,19	,52
Revenu (de 15000 à plus de 60 000)	181	Ordinale	1	4	2,15	,95
Taux d'occupation par logement	139	Continue	2	12	5,34	1,87
Part modale des déplacements						
TC (1 : TC, 0 :autre)	184	dichotomique	0,00	1,00	,31	,46
Voiture (1 : Voiture, 0 :autre)	184	dichotomique	0,00	1,00	,26	,44
Marche à pied (1 : MAP, 0 :autre)	184	dichotomique	0,00	1,00	,42	,49

* variable calculée

6.2.4. Calcul des variables

Le calcul des variables a été effectué sur la base des équations présentées en état de l'art. L'indice de mixité fonctionnelle est calculé en s'appuyant sur la méthode développée par Dujardin et al (2009) et consiste à associer pour chaque distance d'une catégorie fonctionnelle une valeur allant de 1 à 4 ou le 1 indique des distance supérieures à 1 km alors que 4 est associé à des distance inférieure à 300 mètres. L'indice de mixité fonctionnelle représente la proximité spatiale des fonctions urbaines par

rapport aux habitations. Ainsi l'indice peut avoir des valeurs comprises entre 5 et 40 ou 5 représente une très faible mixité fonctionnelle et inversement pour la valeur 40.

Le croisement des données obtenues de notre enquête avec celles de l'ONS (2011) et (2014, web), nous montre une proximité dans la représentation du type d'habitat, du taux d'occupation par logement et du taux de motorisation. Les données de l'ONS (2014 web) portant sur le type de carburant en 2014 montrent aussi une proximité avec une absence du GPL dans les données du carburant GPL (Voir graphes ci-dessous).

Dans notre échantillon, le type d'habitat collectif est représenté à près de 10% de plus que la valeur de 2008. Il est à noter que dans cette période, un programme d'habitat collectif important a été réalisé que les 30 % d'habitat collectif initial nous paraissent être dépassés dans les 7 ans après 2008.

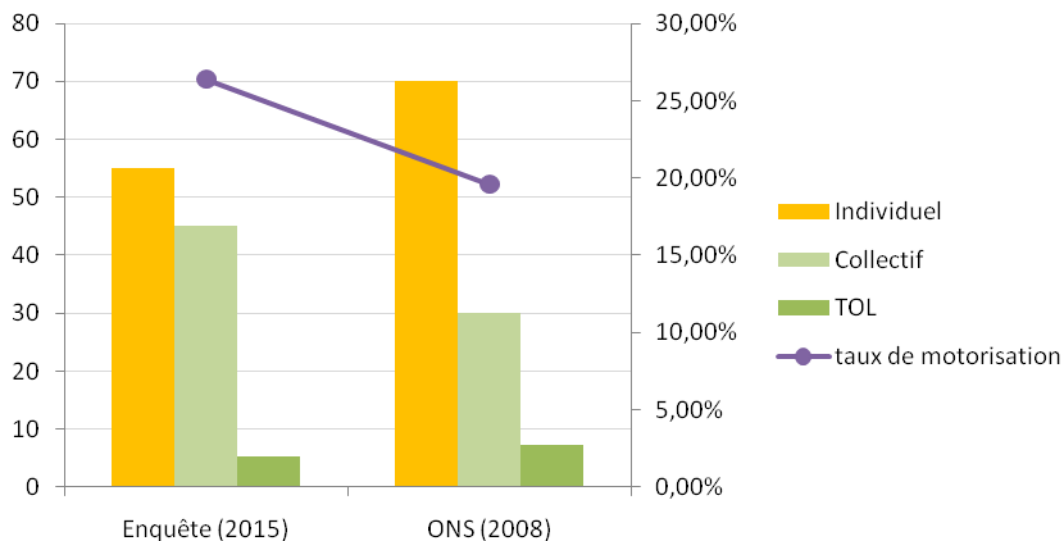


Fig 6- 12 : Comparaison entre les données de l'enquête et les données de l'ONS. Le taux de motorisation se lit sur l'axe secondaire. Source : S.Boukarta

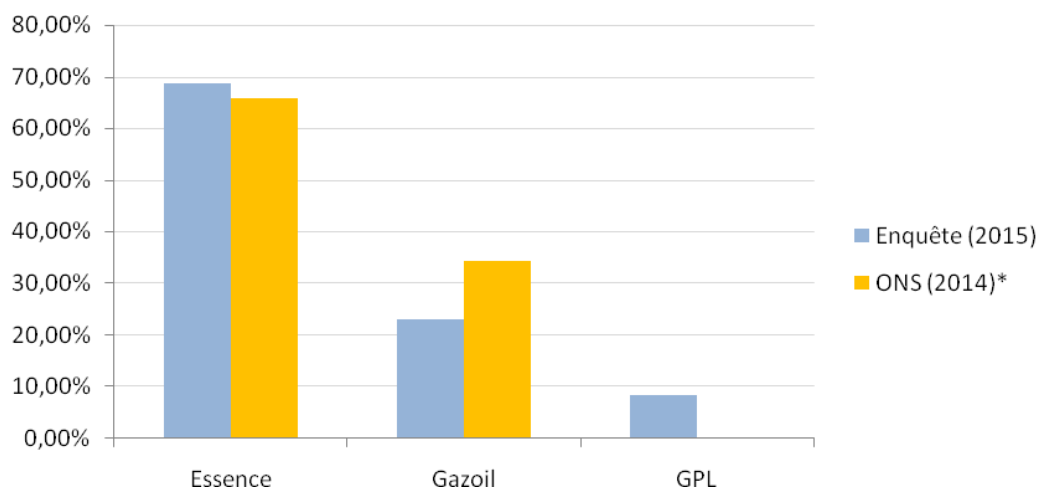


Fig 6- 13: Comparaison en termes de type de carburant utilisé dans le parc des voitures entre les données de l'enquête et celle de l'ONS. Source : S.Boukarta

6.3. Modélisation de la part modale des moyens de déplacement

Sur la base des données obtenues et calculées à partir de l'enquête, nous avons exploré les pistes de causalité de la part modale de la voiture, des TC, de la marche à pied et de la consommation d'énergie induite par la mobilité exprimée en kWh/km.personne, afin de pouvoir comparer les résultats de la présente analyse portant sur la mobilité avec les résultats du chapitre 5. Pour ce faire, nous avons suivi les mêmes étapes considérées dans le chapitre 5, la phase d'exploration conduite par une analyse bi-variée est suivie par une analyse en composante principale. Puis une phase de confirmation est réalisée via une modélisation par équation structurelle. Cette dernière phase nous permettra d'identifier et confirmer les pistes de causalité ainsi que les effets directs et indirects pour chaque variable explicative.

6.3.1. Analyse bi-variée

A travers l'analyse bi-variée nous avons pu identifier les variables explicatives qui peuvent impacter directement les parts modales des moyens de déplacement dans la commune de Djelfa. Les résultats de l'analyse sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 6- 3 : Résultats de l'analyse bivariée entre les variables explicatives et les parts modales des moyens de déplacement. Source : S.Boukarta

	Voiture		Marche à pied		Transport en commun	
	Corrélation	SIG.	Corrélation	SIG.	Corrélation	SIG
Accessibilité						
Distance Domicile-travail	,247**	,002	-,407**	,000	,214**	,006
Durée aller	-,100	,187	-,308**	,000	,431**	,000
Nombre de rotation des bus	,128	,118	-,329**	,000	,237**	,004
Densité						
Densité bâtie (COS)	-,071	,408	,087	,306	-,026	,757
Emprise au sol (CES)	-,037	,662	,082	,336	-,052	,546
Design						
Type d'habitat	,021	,802	,035	,673	-,055	,501
Distance de la route de la gare	,205*	,011	-,287**	,000	,111	,175
Distance au centre	,149	,072	-,336**	,000	,212**	,010
Surface des îlots	,140	,100	-,280**	,001	,164	,054
Nombre moyen des niveaux	,047	,584	-,119	,162	,082	,339
Diversité fonctionnelle						
Mixité fonctionnelle	-,069	,362	,126	,096	-,064	,399
Distance au TC						
Distance au TC (domicile)	-,125	,100	,008	,914	,099	,194
Fréquence des Bus	-,070	,343	,113	,126	-,051	,492
Distance au TC (travail)	,045	,559	-,010	,898	-,031	,687
Caractéristiques socio-économiques de l'occupant						
Profession	,198**	,008	-,115	,123	-,060	,421
Age répondant	-,086	,349	,158	,084	-,079	,388
Niveau d'instruction	-,004	,962	-,037	,628	,079	,302
Revenu	,204**	,006	-,086	,247	-,124	,097
Nombre de voiture	,459**	,000	-,182*	,013	-,267**	,000
Taux d'occupation par logement (TOL)	-,086	,310	,077	,368	-,004	,967

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

n=184

Les variables du registre de l'accessibilité semblent impacter directement la part modale de la marche à pied et des TC. Celle de la voiture particulière est encouragée par l'importance des distances Domicile-Travail. La marche à pied baisse avec l'augmentation dans les distances domicile-

travail, durée de l'aller et le nombre de rotation-bus à faire pour gagner le lieu de travail. Aussi, l'importance des distances entre le domicile et le travail encourage davantage le recours aux TC dans les déplacements domicile-travail, ce qui est plutôt logique.

Le rôle de la densité du bâti sur la mobilité domicile-travail en revanche ne semble avoir aucun impact sur le choix modal, cependant, un effet indirect n'est pas exclu et qu'il serait judicieux de l'explorer à travers l'analyse en composante principale.

Le registre du design encourage la part modale de la voiture à travers les distances de la route de la gare qu'on a identifiée lors de nos visites à la ville et à travers la lecture du plan de la ville. La distance au centre, et l'importance de la surface des îlots encouragent aussi le recours à la voiture particulière mais selon un niveau de signification de 90% et non 95%. Les îlots les plus importants en termes de surface se trouvent dans les nouvelles extensions de la ville, caractérisée aussi par un faible indice de mixité fonctionnelle. Par ailleurs, la marche à pied est abandonnée devant l'importance des surfaces des îlots, des distances au centre et de la route de la gare. Ces résultats viennent en concordance avec les résultats de Salat (2011) qui spécifie qu'avec les grands îlots, la possibilité de changement de direction est réduite et la marche à pied baisse aussi.

Le recours au TC est encouragé par les distances au centre, et dans un intervalle de signification de 90%, la surface des îlots augment aussi la part modale des TC. Le type d'habitat et le nombre moyen des niveaux ne semblent pas avoir un effet direct sur le choix modal.

Contre notre attente, et à travers l'analyse bi-variée, la mixité fonctionnelle ne semble pas avoir d'effet direct, significatif sur le choix modal, sauf sur la marche à pied mais dans un intervalle de signification de 90%.

Dans le registre des distances au TC, il n'y a que la distance au TC dans l'environnement résidentiel qui réduit le recours à la voiture particulière dans un intervalle de signification de 90%, alors que la fréquence des bus et la distance au TC dans le lieu de travail ne semble avoir un effet direct significatif.

Enfin, les caractéristiques socio-économiques encouragent le recours à la voiture particulière à travers le revenu, le nombre de voitures et la profession (libérale). Alors que la marche à pied n'est impactée directement que par l'âge du répondant et dans un intervalle de signification de 90%. Les personnes âgées ont tendance à se déplacer à pied pour gagner leurs lieux de travail. En contrepartie, le nombre de voitures par ménage réduit la part modale de la marche à pied. Enfin, la part modale des TC n'est impactée directement et négativement que par le revenu (intervalle de 90%) et le nombre de voitures par ménage.

A travers l'analyse bi-variée, il nous est possible d'identifier les variables explicatives qui potentiellement impactent, directement et indirectement, le choix modal des déplacements domicile-travail (Voir la figure ci-dessous). A travers l'analyse en composante principale, il nous sera possible d'explorer les variables explicatives en identifiant ainsi leur effet direct et indirect sur le choix modal.

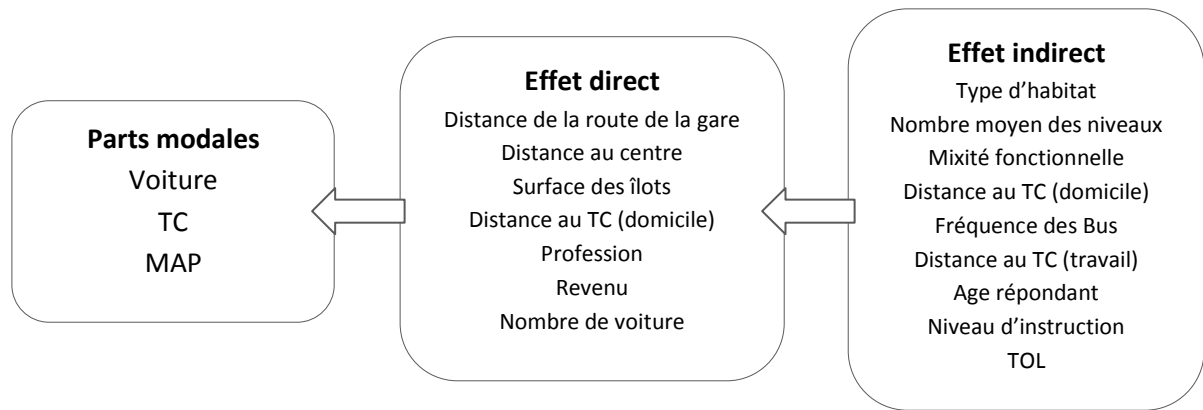


Fig 6- 14: Variables explicatives et leurs effets potentiels sur le choix modal. Source : S.Boukarta

6.3.2. Analyse en composante principale

Nous avons réalisé deux ACPs, une pour la part modale de la voiture et l'autre pour la part modale de la marche à pied et les TC, car en les mettant séparément, le seuil de l'indice KMO n'est pas atteint (0.45). Alors que le KMO pour l'ACP de la part modale de la voiture est de 0.59 et celui des TC et de la marche à pied considérées ensemble est de 0.572.

6.3.2.1. Analyse en composante principale pour la part modale de la voiture

Toutes les communalités des variables explicatives après extraction sont supérieures à 0.32, seuil à partir duquel une variable est à écarter du système étudié. La variance expliquée par l'ACP est de 77 %. (Voir annexe).

Tableau 6- 4: Projection des variables dans l'espace de l'ACP. Réalisé sous SPSS 21.0

	Axes						
	1	2	3	4	5	6	7
Distance Domicile-travail	,253	,651	,074	,036	-,263	,131	-,394
Durée aller	,259	,181	-,391	,505	,218	-,499	-,085
Nombre de rotation des bus	,168	,536	-,396	,274	,096	-,298	-,495
Densité bâtie (COS)	-,833	,295	,187	,056	-,158	-,183	,075
Emprise au sol (CES)	-,889	,295	,145	,113	-,110	-,193	,083
Type d'habitat	-,829	,258	,246	,212	,021	-,004	,153
Distance de la route de la gare	,436	,597	,174	,274	-,304	,220	,222
Distance au centre	,677	,450	,081	,245	-,177	,211	,276
Surface des îlots	,709	-,057	,018	,214	-,053	-,065	,237
Nombre moyen des niveaux	,870	-,115	-,057	-,004	-,041	,253	-,093
Mixité fonctionnelle	,452	-,424	,283	-,226	,074	-,292	,021
Distance au TC (domicile)	-,297	,202	-,629	,344	,098	,237	,055
Fréquence des Bus	-,459	,063	-,197	,165	,291	,571	,248
Distance au TC (travail)	,131	-,044	-,395	,194	,707	,015	,165
Profession	-,218	-,182	-,114	-,279	,270	,263	-,352
Age répondant	-,065	-,596	-,026	,654	-,217	,119	-,025
Niveau d'instruction	,287	,471	-,041	-,318	,148	-,292	,465
Revenu	,096	-,308	,483	,596	,274	-,180	,201
Nombre de voiture	,032	,234	,616	,161	,532	,070	-,204
Taux d'occupation par logement (TOL)	-,079	-,327	,165	,551	-,331	,016	-,230
Part modale de la Voiture	,194	,334	,633	,059	,398	,177	-,232

Extraction Method: Principal Component Analysis.

A partir de la projection des variables explicatives dans l'espace de l'ACP sur le tableau ci-dessus, nous pouvons observer la projection de la part modale de la voiture sur trois axes (colonnes du tableau) de l'ACP, l'axe 2, 3 et 5 avec des valeurs dépassant les 0.32. Toutes les variables projetées sur ces trois axes sont des variables ayant potentiellement un effet direct sur la part modale de la voiture particulière. Les autres axes regroupant les autres variables explicatives qui peuvent avoir un effet indirect sur la part modale de la voiture. Les effets indirects peuvent se matérialiser à travers les variables de l'axe 2, 3 et 5 avec les variables explicatives des axes 1, 4, 6 et 7. Cette lecture de l'ACP nous permet de schématiser les pistes de causalités potentielles expliquant la part modale de la mobilité.

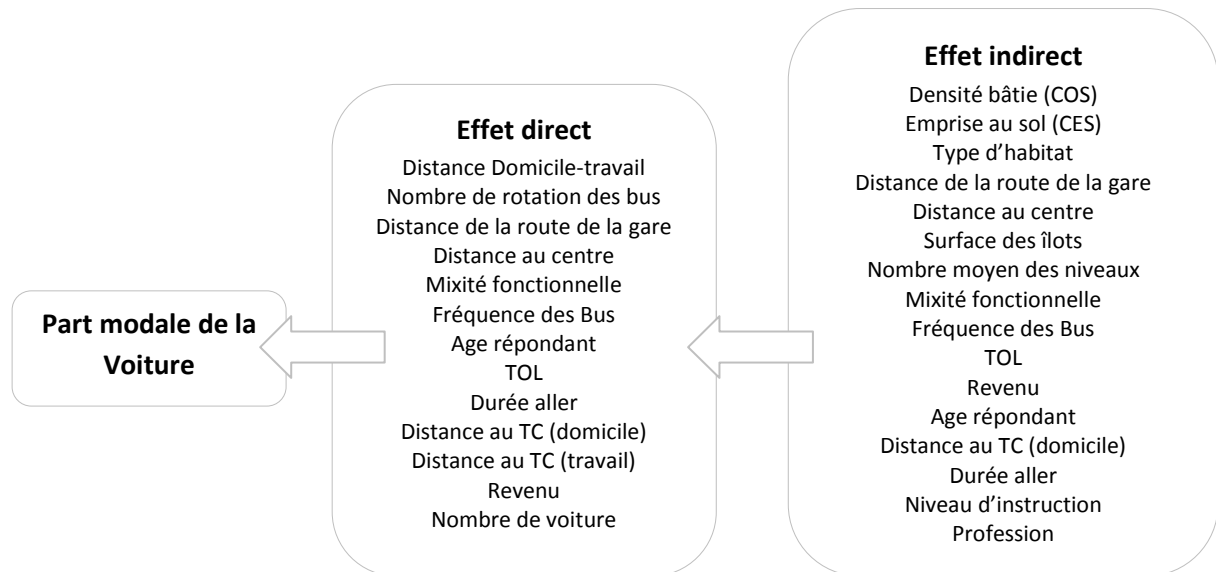


Fig 6- 15 : Effets directs et indirects potentielles des variables explicatives sur la part modale de la voiture.

L'ACP a élargi la base des variables explicatives qui peuvent avoir un effet direct sur la part modale de la voiture et a écarté la surface des îlots et la profession, alors qu'à travers l'analyse bivariée, ces deux variables sont corrélées avec la part modale de la voiture dans un intervalle de signification de 90%. Nous les explorons aussi dans la modélisation par équation structurelle pour confirmer ou infirmer ces impacts dans une logique systémique.

6.3.2.2. Analyse en composante principale pour la part modale de la marche à pied et les TC

La variance expliquée par l'ACP portant sur la part modale de la marche à pied et les TC est de 75% et toutes les communalités des variables après extraction sont nettement supérieures à la valeur seuil de 0.32 (voir annexe). Les variables explicatives forment bien un système. (Voir annexe). La projection des variables sur les trois premiers axes de l'ACP (voir figure ci-dessous) montre clairement une séparation entre la part modale des TC et celle de la marche à pied, les deux variables sont projetées en opposition dans l'espace ACP. Ceci peut être interprété par le fait que les variables encourageant le déplacement par TC tendent à réduire la part modale de la marche à pied. La projection complète des variables dans l'espace ACP comprend 7 axes, sur lesquels toutes les variables sont projetées. La part modale de la marche à pied est projetée sur l'axe 2 et celle des TC sur l'axe 7 (Voir tableau ci-dessous).

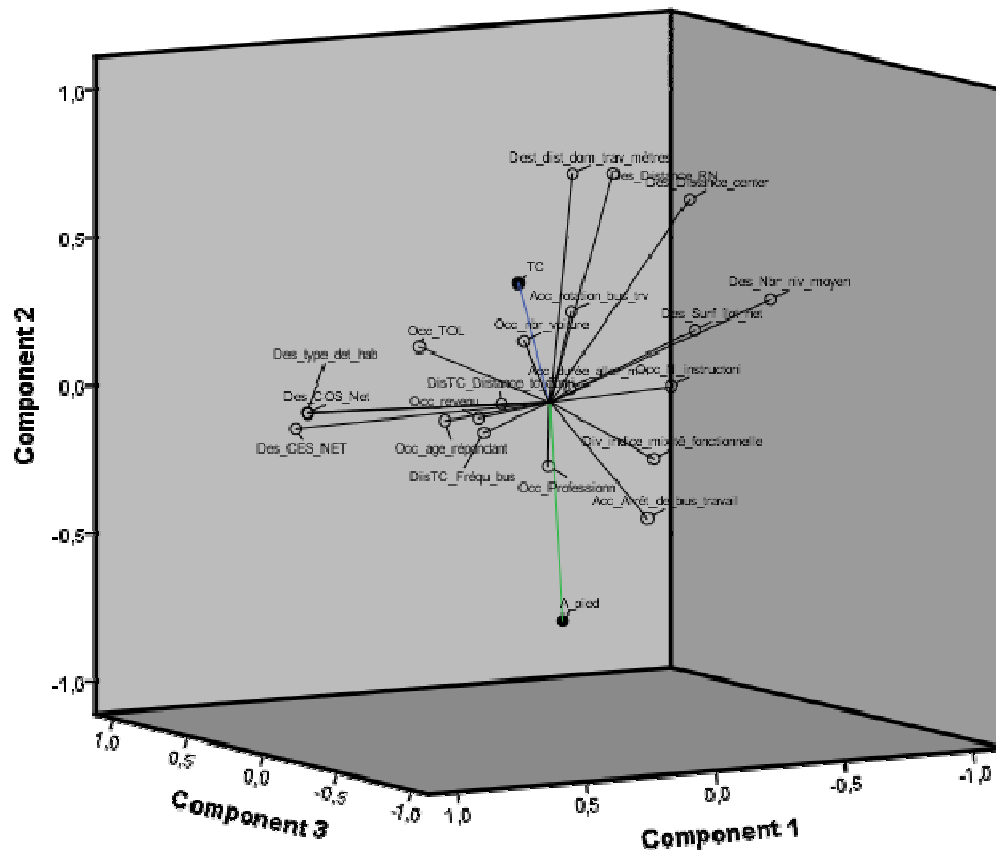


Fig 6- 16 : Projection tri-axiale des variables explicative de la part modale des TC et de la marche à pied dans l'espace ACP.

Tableau 6- 5 : Projection des variables explicatives de la part modale de la marche à pied et des TC.

	Axes						
	1	2	3	4	5	6	7
Distance Domicile-travail	-,019	,787	-,122	-,079	,198	-,252	-,022
Durée aller	-,113	,032	,058	,046	,837	,305	-,062
Nombre de rotation des bus	-,018	,318	-,114	,053	,827	-,231	,002
Densité bâtie (COS)	,935	,027	-,003	,043	-,061	-,022	-,020
Emprise au sol (CES)	,974	-,022	,014	,109	-,012	-,010	-,005
Type d'habitat	,885	,016	,088	,239	-,103	,076	,141
Distance de la route de la gare	-,167	,779	-,135	,146	-,067	,308	,053
Distance au centre	-,447	,676	-,160	,133	-,017	,394	,044
Surface des îlots	-,576	,201	,029	-,114	,079	,479	-,063
Nombre moyen des niveaux	-,874	,283	,035	-,085	-,012	,028	,017
Mixité fonctionnelle	-,406	-,220	,007	-,565	-,095	,189	,128
Distance au TC (domicile)	,147	-,003	,068	,715	,324	-,075	-,273
Fréquence des Bus	,228	-,092	,045	,773	-,193	-,062	,124
Distance au TC (travail)	-,279	-,391	-,170	,478	,403	,177	,244
Profession	-,009	-,220	,024	,093	-,037	-,524	,122
Age répondant	-,091	-,173	,855	,141	-,026	,201	-,119
Niveau d'instruction	-,046	,141	-,733	-,085	,090	,399	-,075
Revenu	,001	-,111	,470	-,102	,058	,609	,470
Nombre de voiture	,098	,213	,004	-,077	,069	,019	,880
Taux d'occupation par logement (TOL)	,070	,100	,752	-,094	,022	,063	-,039
Part modale de la marche à pied	,009	-,724	-,100	,132	-,198	-,238	,025
Part modale des TC	,018	,382	,179	-,021	,221	,245	-,695

Extraction Method: Principal Component Analysis.

La lecture de la projection des variables dans l'espace de l'ACP, nous permet de distinguer les variables explicatives de la part modale de la marche à pied et des TC. Celles projetées sur l'axe 2 et 7 de l'ACP ont, respectivement, un impact potentiellement direct sur la part modale de la marche à pied et des TC. Les autres variables par contre, ont un impact indirect sur le choix modal. Aussi, certaines variables peuvent à la fois avoir un effet direct et indirect modéré par d'autres variables. Les variables sont classées sur la figure ci-dessous sur la base de leur effet, direct ou indirect.

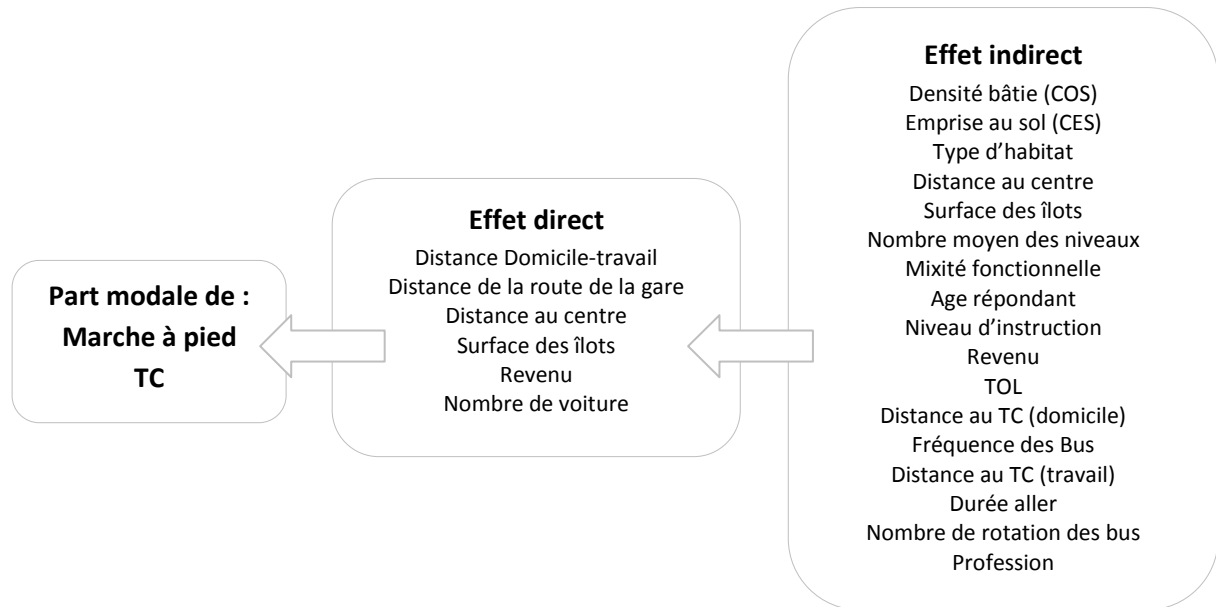


Fig 6- 17 : Effets directs et indirects potentielles des variables explicatives sur la part modale de la marche à pied et les TC.

Après l'identification des pistes de causalité potentielles, nous avons réalisé trois modélisations par équations structurelles, expliquant les parts modales de la voiture, de la marche à pied et des TC.

6.4. Modélisations par équation structurelle

6.4.1. Modélisation de la part modale de la voiture particulière

La modélisation s'est faite sur la base des résultats des corrélations bi-variées réalisées et sur la base des ACPs. On a commencé par tester toutes les pistes de causalité possibles pour chaque variable.

a. Indice d'ajustement

Nous avons obtenu le modèle présenté ci-dessous et dont les conditions d'ajustements sont toutes vérifiées (voir tableau ci-dessous).

Tableau 6- 6 : Indices d'ajustement du modèle de la part modale de la voiture

	<i>df</i>	χ^2	Probability level	<i>RMSEA</i>	<i>NFI</i>	<i>CFI</i>
Part modal de la voiture	59	39.35	0.977	0.000	0.954	1.000

La figure ci-dessous présente les effets directs entre les variables explicatives et la part modale de la voiture.

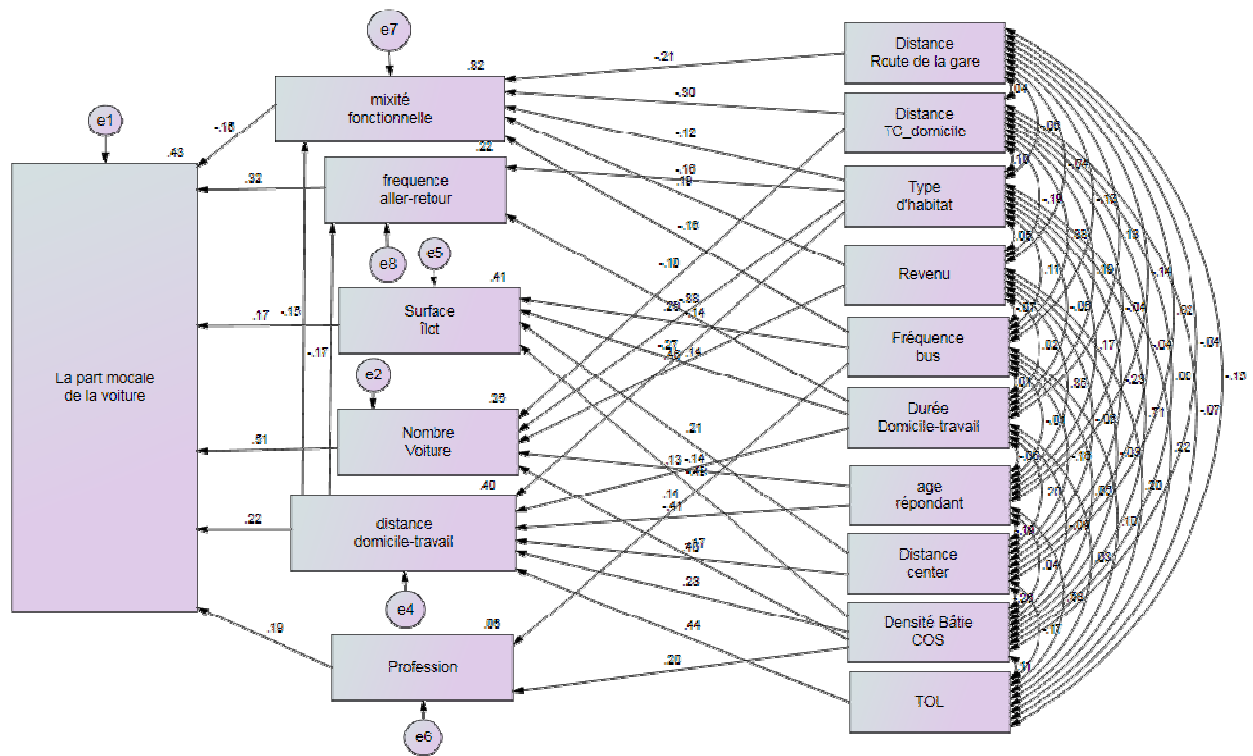


Fig 6- 18 : Modèle explicatif de la part modale de la voiture.

Tableau 6- 7 : Effets directs entre variables.

			Effet	P
Distance domicile-travail	<---	Durée-aller	.129	.055*
Distance domicile-travail	<---	Type_d'habitat	-.274	.007**
Distance domicile-travail	<---	TOL	.440	***
Distance domicile-travail	<---	Densité bâtie (COS)	.278	.008**
Distance domicile-travail	<---	Distance au centre	.398	***
Distance domicile-travail	<---	Age répondant	-.409	***
Surface îlot	<---	Fréquence des Bus	-.141	.033**
Surface îlot	<---	Distance au centre	.206	.003**
Professionn (Public, Privé)	<---	Densité bâtie (COS)	.199	.010**
mixité fonctionnelle	<---	Distance de la route de la gare.	-.213	.004**
mixité fonctionnelle	<---	Fréquence des Bus	-.165	.017**
mixité fonctionnelle	<---	Revenu	.189	.004**
Surface îlot	<---	Durée-aller	.136	.045**
Nombre de voiture	<---	Age répondant	-.141	.083*
Nombre de voiture	<---	Distance au TC (domicile)	-.102	.133
fréquence aller-retour	<---	Durée-aller	-.383	***
mixité fonctionnelle	<---	Distance domicile-travail	-.147	.040**
fréquence aller-retour	<---	Distance domicile-travail	-.171	.019**
Nombre de voiture	<---	Revenu	.464	***
Profession	<---	Fréquence des Bus	-.139	.056*
mixité fonctionnelle	<---	Distance au TC (domicile)	-.299	***
mixité fonctionnelle	<---	Type_d'habitat	-.117	.068*
Nombre de voiture	<---	Type_d'habitat	.258	.011**
fréquence aller-retour	<---	Type_d'habitat	-.160	.020**
Surface îlot	<---	Densité bâtie (COS)	-.488	***
Nombre de voiture	<---	Densité bâtie (COS)	-.168	.110
Par modale de la voiture	<---	Profession	.189	***
Par modale de la voiture	<---	Distance domicile-travail	.218	***
Par modale de la voiture	<---	Surface îlot	.168	.008**
Par modale de la voiture	<---	Nombre de voiture	.511	***
Par modale de la voiture	<---	fréquence aller-retour	.316	***
Par modale de la voiture	<---	mixité fonctionnelle	-.149	.013**

***Significatif au niveau 0.001

** Significatif au niveau 0.05

* Significatif au niveau 0.1

L'ensemble des effets directs et indirects sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 6- 8 : Effets directs et indirect des variables explicatives sur la part modale de la voiture.

	Effet	Distance Domic-trav	Nbr voiture	Fréquence Aller-retour	Surface îlot	Mixité fonctionnelle	profession	Part modale voiture
Age répondant	Direct	-.409	-.141	.000	.000	.000	.000	.000
	indirect	.000	.000	.070	.000	.060	.000	-.148
	Total	-.409	-.141	.070	.000	.060	.000	-.148
Taux d'occupation par logement (TOL)	Direct	.440	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	indirect	.000	.000	-.075	.000	-.065	.000	.082
	Total	.440	.000	-.075	.000	-.065	.000	.082
Type d'habitation	Direct	-.274	.258	-.160	.000	-.117	.000	.000
	indirect	.000	.000	.047	.000	.040	.000	.048
	Total	-.274	.258	-.113	.000	-.077	.000	.048
Densité bâtie (COS)	Direct	.278	-.168	.000	-.488	.000	.199	.000
	indirect	.000	.000	-.048	.000	-.041	.000	-.079
	Total	.278	-.168	-.048	-.488	-.041	.199	-.079
Distance au centre	Direct	.398	.000	.000	.206	.000	.000	.000
	indirect	.000	.000	-.068	.000	-.058	.000	.109
	Total	.398	.000	-.068	.206	-.058	.000	.109
Durée aller	Direct	.129	.000	-.383	.136	.000	.000	.000
	indirect	.000	.000	-.022	.000	-.019	.000	-.074
	Total	.129	.000	-.405	.136	-.019	.000	-.074
Distance au TC (domicile)	Direct	.000	-.102	.000	.000	-.299	.000	.000
	indirect	.000	.000	.000	.000	.000	.000	-.008
	Total	.000	-.102	.000	.000	-.299	.000	-.008
Revenu	Direct	.000	.464	.000	.000	.189	.000	.000
	indirect	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.209
	Total	.000	.464	.000	.000	.189	.000	.209
Distance de la route de la gare	Direct	.000	.000	.000	.000	-.213	.000	.000
	indirect	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.032
	Total	.000	.000	.000	.000	-.213	.000	.032
Fréquence bus	Direct	.000	.000	.000	-.141	-.165	-.139	.000
	indirect	.000	.000	.000	.000	.000	.000	-.026
	Total	.000	.000	.000	-.141	-.165	-.139	-.026
Distance Domicile-travail	Direct	.000	.000	-.171	.000	-.147	.000	.218
	indirect	.000	.000	.000	.000	.000	.000	-.032
	Total	.000	.000	-.171	.000	-.147	.000	.186
Nombre de voiture	Direct	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.511
	indirect	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	Total	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.511
Fréquence Aller-retour	Direct	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.316
	indirect	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	Total	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.316
Surface îlot	Direct	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.168
	indirect	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	Total	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.168
Mixité fonctionnelle	Direct	.000	.000	.000	.000	.000	.000	-.149
	indirect	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	Total	.000	.000	.000	.000	.000	.000	-.149
Profession	Direct	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.189
	indirect	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	Total	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.189

b. Discussion des résultats

Les variables explicatives de la part modale de la voiture particulière ont des effets positifs et négatifs. Les effets négatifs encourageant l'usage de la voiture particulière dans le déplacement domicile-travail sont en nombre de 10 : la profession, la surface des îlots, la fréquence aller-retour, le

nombre de voiture, la distance domicile-travail, la distance de la route de la gare, le revenu, la distance au centre, le type d'habitation et le taux d'occupation par logement (TOL). Les variables explicatives réduisant l'usage de la voiture, donc d'effet positif, sont en nombre de 6 : la mixité fonctionnelle, la fréquence des bus, la distance au TC, la durée aller, la densité bâtie et l'âge du répondant.

Le nombre de voiture est la variable la plus importante encourageant l'usage de la voiture dans les déplacements domicile-travail. Son impact est à la fois direct de 0.51 soit pour chaque voiture de plus par ménage, la chance d'un déplacement motorisé augmente de 39%. La fréquence aller-retour est la seconde variable en termes d'effet sur les déplacements motorisés. Son impact est aussi direct et estimé à 31.6 % par écart type, soit pour chaque fréquence aller-retour de plus, l'usage de la voiture augmente de 27%. Le revenu est la troisième variable encourageant les déplacements motorisés. Son effet est composite, indirect et négatif à travers le nombre des voitures par ménage de 0.235 (0.46×0.51) et positif à travers la mixité fonctionnelle d'une valeur de -0.028 (0.189×-0.15). Le revenu semble aussi jouer un rôle dans la localisation des ménages à haut revenu qui ont tendance à résider dans des quartiers ayant une mixité fonctionnelle élevée. L'effet total du revenu est estimé à 20.9% soit pour chaque 15 000 Da de plus dans le revenu des ménages, la chance d'utiliser la voiture dans les déplacements domicile-travail augmente de 9.68%. En quatrième position on trouve la profession. Les libéraux ont tendance à se déplacer davantage en voiture particulière pour gagner leurs lieux de travail. L'effet de la profession est direct et il impacte le choix modal de la voiture de 18.9%. Soit, la part modal de la voiture des libéraux est de 15.84% de plus par rapport au fonctionnaire du secteur public. En cinquième position, la distance domicile-travail a un effet encourageant la mobilité motorisée directement avec un effet de 21.8% par écart type de la part modale de voiture (0.44). Et indirectement, à travers la fréquence des aller-retour d'une valeur estimée de -0.0544 (-0.17×0.32) et à travers la mixité fonctionnelle d'une valeur de 0.0225 (-0.15×-0.15). L'effet total de la distance domicile-travail est négatif et estimé de 18.6% par écart type. Soit pour chaque 1 km de plus dans la distance domicile-travail, la chance de se déplacer en voiture augmente de 4.16%. La surface des îlots arrive en sixième position avec un effet total et direct de 0.168 par écart type. Soit pour chaque 10 000 m² (100×100) de plus dans la surface des îlots, la chance de se déplacer en voiture augmente de 8.07%. En septième position, on trouve la distance au centre qui a un impact indirect à travers la distance domicile-travail de 0.0875 (0.398×0.22) et à travers la surface des îlots d'une valeur de 0.034 (0.206×0.168). La surface des îlots est plus importante en s'éloignant du centre, dans les nouvelles extensions de l'est à l'ouest. L'effet total de la distance au centre s'élève à 10.9% par écart type et occupe la huitième position en termes d'effet. Soit pour chaque 1 km de plus dans la distance au centre-ville de Djelfa, la mobilité motorisée peut augmenter de 6.88%. En huitième position, le taux d'occupation par logement a un effet indirect sur la mobilité motorisée à travers la distance domicile-travail, d'une valeur estimée à 0.082 (0.218×0.44) soit pour chaque personne en plus par ménage, la part modale de la voiture augmente de 2.02%. En neuvième position, le type d'habitat aussi a un effet encourageant la mobilité motorisée, à travers le type individuel. Son effet est indirect à travers la mixité fonctionnelle de 0.018 (-0.12×-0.15), la fréquence aller-retour de 0.051 (-0.16×0.32), le nombre de voiture 0.13 (0.258×0.51) et à travers la distance domicile-travail 0.06 (-0.274×0.22). L'effet total de du type d'habitat s'élève à 0.048 par écart type, soit les occupants habitant le type individuel ont tendance à se déplacer en voiture de 4.22% de plus que ceux habitant le collectif. Enfin, la distance de la route de la gare, qui est une voie centrale divisant la ville en deux parties Est et Ouest est la dixième variable explicative ayant un effet encourageant la mobilité motorisée. Son

effet est indirect et est estimé à 0.032 à travers la mixité fonctionnelle (-0.213×0.15). Ceci dit, la mixité fonctionnelle baisse en s'éloignant de la route de la gare dans les deux directions, Est comme l'ouest.

La mixité fonctionnelle est la première variable réduisant la mobilité motorisée. Son effet est direct et est estimé à -0.149 par écart type soit, pour chaque amélioration d'une valeur de 4 dans l'indice de mixité fonctionnelle, qui s'interprète par une distance de -300 mètres des catégories fonctionnelles dans l'environnement résidentiel, la mobilité motorisée baisse de -4.8%. Cet indice, ne comprenant pas le lieu de travail comme catégorie fonctionnelle, indique que les zones à forte mixité fonctionnelle sont aussi denses en termes d'emplois. L'âge du répondant est en deuxième position avec un effet indirect à travers le nombre des voitures de -0.072 (-0.141×0.511) et à travers la distance domicile-travail de -0.089 (-0.409×0.219). Son effet total est de -0.148, soit pour chaque dix ans de plus dans l'âge du répondant, la chance de se déplacer en voiture baisse de -6.02%. Il est à noter que la corrélation entre l'âge du répondant et la distance domicile-travail est négative (-0.409) ce qui indique que les personnes âgées habitent les zones à fort potentiel d'emploi, en l'occurrence au centre-ville ou dans sa proximité. En troisième position, on trouve la densité avec un effet indirect total de -0.079 représentant la somme des effets indirects estimé de 0.060 (0.278×0.218) à travers la distance domicile travail, et de 0.037 (0.199×0.189) à travers la profession, et de -0.082 (-0.488×0.168) à travers la surface des îlots et de -0.086 (-0.168×0.511) à travers le nombre des voiture. En d'autres termes, pour chaque valeur de 1 de plus dans la densité, la part modale de la voiture a tendance à baisser de -4.6%. Il est à constater que les grandes surfaces d'îlot sont fréquentes dans les faibles densités, notamment dans les nouvelles extensions urbaines de la ville de Djelfa. En augmentant la densité, le nombre de voiture par ménage baisse (-0.168). La durée de l'aller vers le travail occupe la quatrième position avec un effet indirect de -0.074. Cet effet est la somme des effets indirects, il est estimé à 0.028 (0.129×0.218) à travers la distance domicile-travail, de 0.023 (0.136×0.168) à travers la surface des îlots, et de -0.121 (-0.383×0.316) à travers la fréquence des allers-retours. En d'autres termes, pour chaque 20 minutes de plus dans la durée de déplacement vers le lieu de travail, la chance de se déplacer en voiture baisse de -3.56%. La fréquence des bus dans l'environnement résidentiel a un effet relativement faible, et réduit les déplacements motorisés seulement de -0.026 par écart type. L'effet est indirect, à travers la mixité fonctionnelle de 0.025 (-0.165×-0.149), à travers la surface des îlots de -0.024 (-0.141×0.168) et enfin à travers la profession -0.026 (-0.139×0.189). L'effet traduit le fait que pour chaque fréquence de bus de plus, la part modal de la voiture baisse faiblement de -0.073%. Enfin, le plus faible effet est observé avec la variable Distance au Tc dans l'environnement résidentiel, avec un effet indirect par la mixité fonctionnelle d'un effet de 0.0445 (-0.299×-0.149) et le nombre des voitures avec un effet de -0.052 (-0.102×0.511). L'effet de la distance au TC dans l'environnement résidentiel est de -0.008. En d'autres termes, l'utilisation de la voiture dans les déplacements peut être réduite par l'effet de la mixité fonctionnelle. L'effet de la distance au TC se traduit par le fait que pour chaque 300 mètres de moins vers les arrêts des TC, l'utilisation de la voiture baisse de seulement -0.35%.

Le niveau d'instruction et l'emprise au sol (CES) se sont révélés sans effet significatif et explicatif de la part modale de la voiture. Si l'on catégorise les effets selon les deux grands registres, Environnement bâti et Occupant, on s'aperçoit que les caractéristiques de l'occupant ont un effet plus important sur la part modale de la voiture que celui de l'environnement (Voir figure ci-dessous).

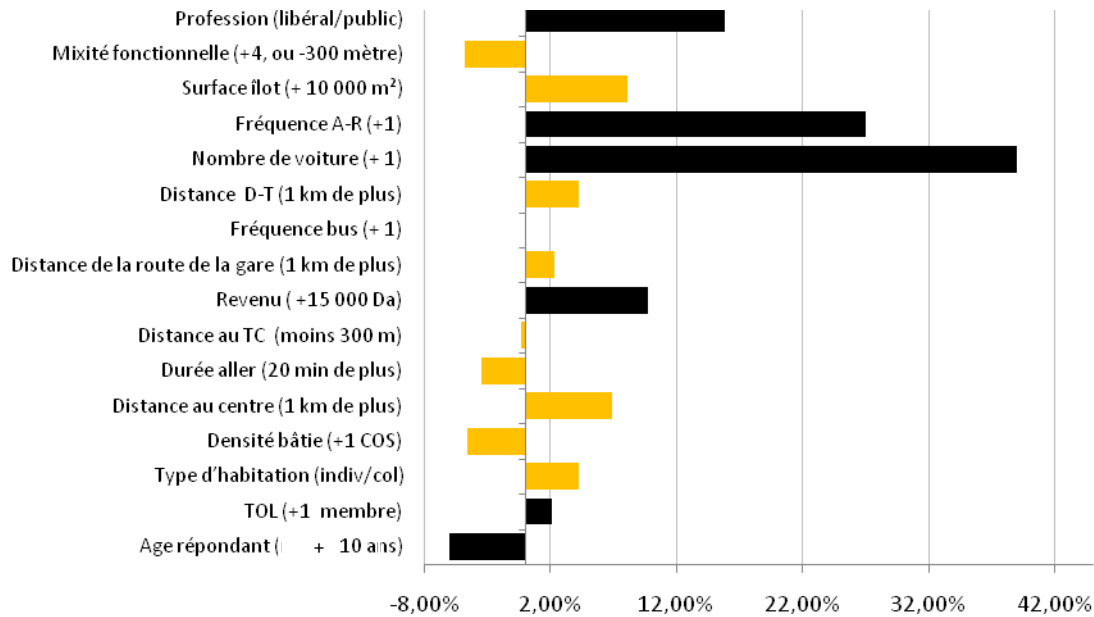


Fig 6- 19 : Effet des variables explicatives sur la part modale de la voiture par unité de mesure. En noir : les variables liées à l'Occupant, en orange : variables de l'Environnement bâti. Source : S. Boukarta

6.4.2. Modélisation de la part modale du TC

a. Indices d'ajustement

Le tableau ci-dessous nous indique que le modèle obtenu répond positivement à toutes les conditions d'ajustement du modèle. Et la figure ci-dessous nous montre les effets directs entre variables.

Tableau 6- 9 : Indices d'ajustement du modèle de la consommation du gaz

	df	χ^2	Probability level	RMSEA	NFI	CFI
Par modal des TC	34	21.2	0.957	0.000	0.964	1.000

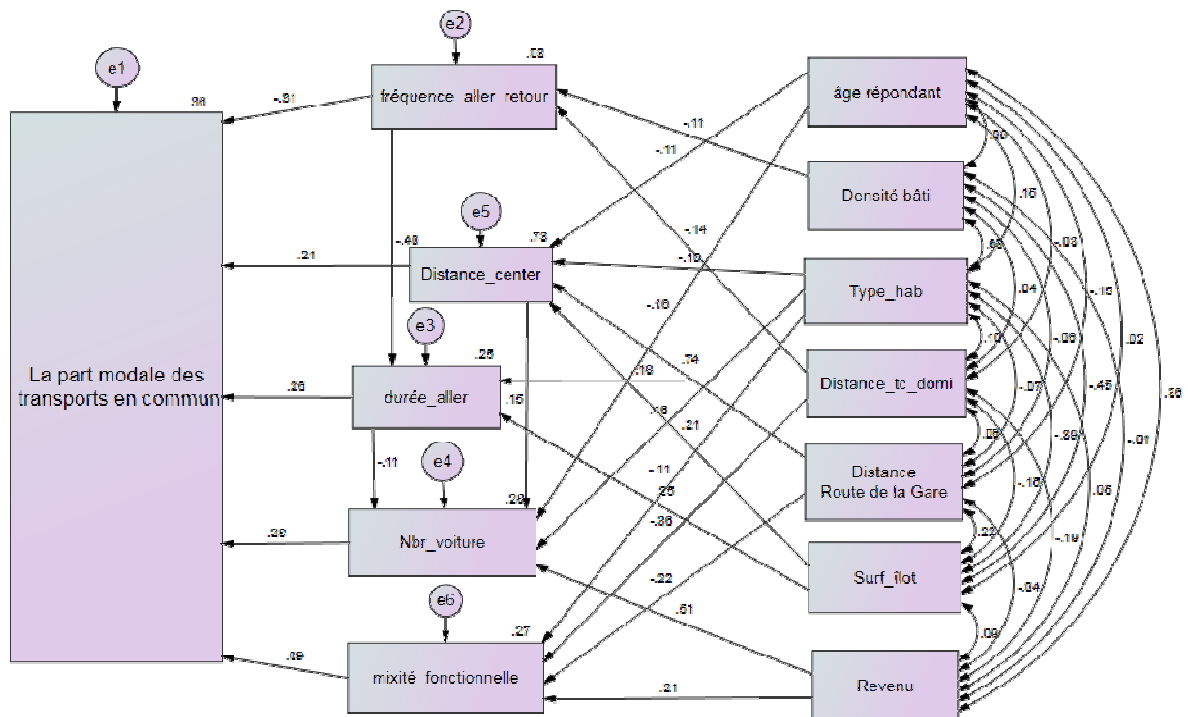


Fig 6- 20 : Effets directs entre variables.

Le Tableau 6-9 ci-dessous présente les effets directs des variables explicatives et les seuils de signification .Et le Tableau 6-10 présente les effets directs et indirects des variables explicatives sur la part modale des TC.

Tableau 6- 10 : Effets directs et indirect des variables explicatives sur la part modale des TC.

			Effet	P
Fréquence aller-retour	<---	Distance Tc-domicile	-.142	.065*
Fréquence aller-retour	<---	Densité bâtie (COS)	-.110	.174
Distance au centre	<---	Surface îlot	.206	***
Distance au centre	<---	Type_hab	-.101	.036**
Durée aller	<---	Surface îlot	.250	***
Distance au centre	<---	Distance de la route de la gare	.742	***
Durée aller	<---	Distance Tc-domicile	.180	.010**
Distance au centre	<---	Age répondant	-.106	.039**
Durée aller	<---	Fréquence aller-retour	-.404	***
Occ_nbr_voiture	<---	Revenu	.507	***
Mixité fonctionnelle	<---	Revenu	.205	.002**
Mixité fonctionnelle	<---	Type d'habitat	-.109	.099*
Mixité fonctionnelle	<---	Distance de la route de la gare	-.222	.002**
Mixité fonctionnelle	<---	Distance Tc-domicile	-.356	***
Nombre de voiture	<---	Type d'habitat	.157	.019**
Nombre de voiture	<---	Durée aller	-.114	.079*
Nombre de voiture	<---	Age répondant	-.161	.060*
Nombre de voiture	<---	Distance centre	.151	.042**
Part modale des TC	<---	Mixité fonctionnelle	.092	.144
Part modale des TC	<---	Fréquence aller-retour	-.314	***
Part modale des TC	<---	Nombre des voitures	-.278	***
Part modale des TC	<---	Durée aller	.256	***
Part modale des TC	<---	Distance au centre	.211	.002**

***Significatif au niveau 0.001

** Significatif au niveau 0.05

* Significatif au niveau 0.1

Tableau 6- 11 : Effets directs et indirects des variables explicatives sur la part modale des TC.

	effet	Fréquence Aller retour	Distance au centre	Durée Aller	Mixité fonctionnelle	Nombre de voiture	Part modale des TC
Densité bâti (COS)	direct	-.110	.000	.000	.000	.000	.000
	indirect	.000	.000	.044	.000	-.005	.047
	total	-.110	.000	.044	.000	-.005	.047
Distance TC domicile	direct	-.142	.000	.180	-.356	.000	.000
	indirect	.000	.000	.057	.000	-.027	.080
	total	-.142	.000	.238	-.356	-.027	.080
Fréquence Aller- retour	direct	.000	.000	-.404	.000	.000	-.314
	indirect	.000	.000	.000	.000	.046	-.116
	total	.000	.000	-.404	.000	.046	-.430
Age Répodnant	direct	.000	-.106	.000	.000	-.161	.000
	indirect	.000	.000	.000	.000	-.016	.027
	total	.000	-.106	.000	.000	-.177	.027
Type d'habitat	direct	.000	-.101	.000	-.109	.157	.000
	indirect	.000	.000	.000	.000	-.015	-.070
	total	.000	-.101	.000	-.109	.141	-.070
Surface îlot	direct	.000	.206	.250	.000	.000	.000
	indirect	.000	.000	.000	.000	.002	.107
	total	.000	.206	.250	.000	.002	.107
Distance de la route de la gare	direct	.000	.742	.000	-.222	.000	.000
	indirect	.000	.000	.000	.000	.112	.105
	total	.000	.742	.000	-.222	.112	.105
Distance au centre	direct	.000	.000	.000	.000	.151	.211
	indirect	.000	.000	.000	.000	.000	-.042
	total	.000	.000	.000	.000	.151	.169
Revenu	direct	.000	.000	.000	.205	.507	.000
	indirect	.000	.000	.000	.000	.000	-.122
	total	.000	.000	.000	.205	.507	-.122
Durée Aller	direct	.000	.000	.000	.000	-.114	.256
	indirect	.000	.000	.000	.000	.000	.032
	total	.000	.000	.000	.000	-.114	.288
Mixité fonctionnelle	direct	.000	.000	.000	.000	.000	.092
	indirect	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	total	.000	.000	.000	.000	.000	.092
Nombre de voiture	direct	.000	.000	.000	.000	.000	-.278
	indirect	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	total	.000	.000	.000	.000	.000	-.278

b. Discussion des résultats

La modélisation par équation structurelle nous a permis d'identifier les effets directs et indirects des variables explicatives de la part modale des TC. En tout, 8 variables explicatives ont un effet encourageant le déplacement par TC, alors que 4 variables ont un effet inverse et réduisent du fait le déplacement par TC.

Dans le registre des variables augmentant le choix modal des TC, on trouve en première position la durée de déplacement domicile-travail qui agit avec un effet direct de 0.256 et un effet indirect à travers le nombre de voiture de 0.03 (-0.11×-0.28). L'effet total s'élève à 0.288 par écart type (0.46). Soit pour chaque 20 minutes de plus dans la durée du déplacement, la part modale des TC augmente de 14.5%. C'est donc un facteur important de la réduction de la consommation de l'énergie. En deuxième position, on trouve la distance au centre avec un effet direct de 0.21, et un effet indirect à travers le nombre de voiture de -0.042 (0.15×-0.28). En tout, l'effet de la distance au centre s'élève à 0.169 par écart type, soit pour chaque 1 km de plus dans la distance au centre, la part modale des TC augmente de 11.16%. En troisième position vient la surface des îlots, avec un effet indirect de 0.0434 (0.206×0.211) à travers la distance au centre, et de 0.064 (0.25×0.256) à travers la durée aller, ce qui donne un effet indirect total de 0.107, soit pour chaque 10 000 m² de plus dans la surface des îlots la part modale des TC augmente de 5.38%. La distance de la route de la gare occupe la quatrième position avec un effet indirect de 0.105. Cet effet est la somme de l'effet indirect à travers la distance au centre (0.742×0.211) et à travers la mixité fonctionnelle (-0.222×0.09). Soit pour chaque distance de 1 km, le choix modal des TC augmente de 7.66%. La mixité fonctionnelle arrive en cinquième position avec un effet direct de 0.092, soit pour chaque valeur de 4 de plus dans l'indice de mixité fonctionnelle, qui est l'équivalent de moins de 300 mètres de distances aux catégories fonctionnelles, la part modale des TC augmente de 3.14%. La distance au TC dans l'environnement résidentiel arrive en sixième position avec une série de trois effets indirects, à travers la fréquence aller-retour (-0.142×-0.314), la durée aller (0.18×0.092) et la mixité fonctionnelle (-0.356×0.256). L'effet total est ici de 0.08 par écart type, soit pour chaque distance de moins de 300 mètres au TC, la part modal des TC augmente de 3.74%. La densité bâtie a un effet encourageant le choix modal des TC avec un effet indirect de 0.047 à travers la fréquence aller-retour. Soit, pour chaque densité bâtie de 1 de plus, la part modale des TC augmente de 2.75%. L'âge du répondant a aussi un impact augmentant la part modale des TC, à travers la distance au centre (-0.106×0.211) et le nombre des voitures par ménage (-0.161×-0.278). L'effet total est de 0.047 par écart type de part modale des TC, soit pour chaque dix ans dans l'âge du répondant, la part modale des TC augmente de 2%.

Dans le registre des variables explicatives réduisant la part modale des TC, on trouve la fréquence aller-retour dans la première position, avec un effet réducteur de -0.43 par écart type. L'effet est direct avec une valeur de -0.314 et indirect à travers la durée aller de -0.102 (-0.40×0.256). En d'autres termes, pour chaque fréquence de déplacement aller-retour de plus, la part modale des TC baisse de -37%. Le nombre de voitures par ménage est la seconde variable affectant négativement avec un effet direct et total de -0.278. Soit pour chaque voiture de plus par ménage, la part modale des TC baisse drastiquement de -22.24%. Le revenu arrive en troisième position avec un effet réducteur du choix modal des TC de -0.122 par écart type. Cet effet est indirect avec le nombre des voitures (0.51×-0.28) et la mixité fonctionnelle (0.21×0.09). Autrement dit, pour chaque 15 000 Da de plus dans le revenu, la part modal des TC baisse de -5.91%. Le type d'habitation et notamment l'individuel a tendance à baisser la part modal des TC de -0.07. Cet effet est indirectement corrélé à

travers la distance au centre 0.0212 (-0.101×0.21) et à travers le nombre des voitures -0.0439 (0.157×-0.28) et faiblement à travers la mixité fonctionnelle de -0.0098 (-0.109×0.09). En d'autres termes, un occupant résidant un habitat individuel a tendance à se déplacer à -6.44% avec les TC.

Le traitement des effets par unité de mesure, tel que présenté dans la figure ci-dessous, nous montre l'importance de l'environnement bâti dans l'explication positive de la part modale des TC de par le nombre des variables et de par l'effet. Par contre l'occupant, avec 3 des variables explicatives, a tendance à réduire la part modale de TC.

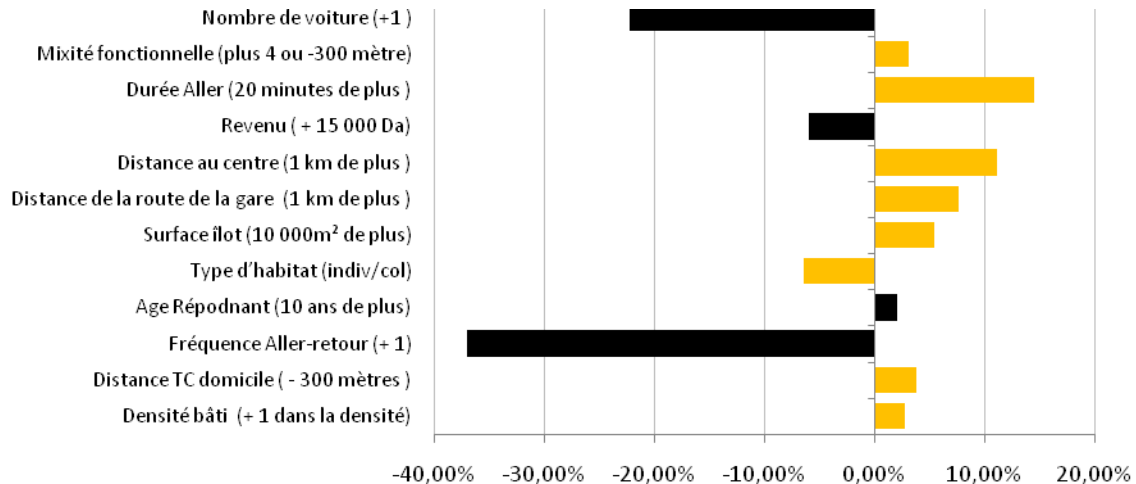


Fig 6- 21 : Effet des variables explicatives sur la part modale des TC par unité de mesure. En noir : les variables liées à l'occupant, en orange : variables de l'environnement bâti. Source : S.Boukarta

6.4.3. Modélisation de la part modale de la marche à pied

a. Indices d'ajustement

Comme présenté dans le tableau ci-dessous, tous les indices d'ajustement du modèle sont satisfaits ce qui valide le modèle obtenu. Les résultats des effets sont présentés ci-dessous.

Tableau 6- 12 : indices d'ajustement du modèle.

	df	χ^2	Probability level	RMSEA	NFI	CFI
Part modale de la marche à pied	34	28.03	0.755	0.000	0.949	1.000

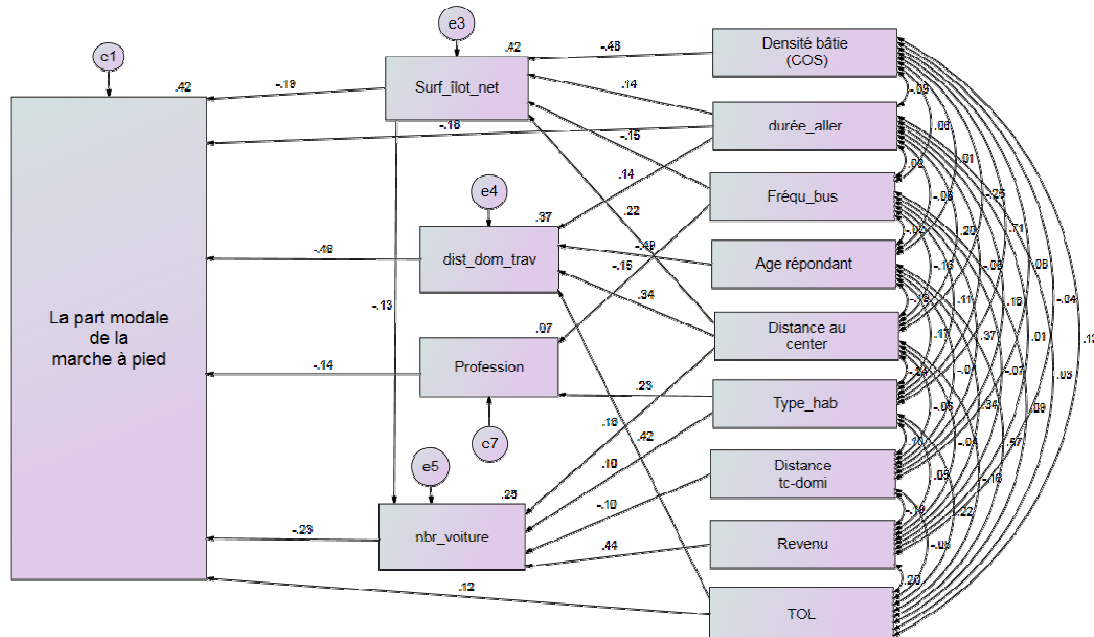


Fig 6- 22 : Effets directs entre variables.

Tableau 6- 13 : Effets directs et indirect des variables explicatives sur la part modale de la marche à pied.

			Effet	P
Surface îlot	<---	Fréquence des bus	-.149	.023**
Surface îlot	<---	Distance au centre	.223	.001**
Surface îlot	<---	Densité bâtie (COS)	-.482	***
Surface îlot	<---	Durée Aller	.141	.036**
Nombre de voiture	<---	Surface îlot	-.128	.134
Nombre de voiture	<---	Distance au centre	.157	.042**
Distance domicile-travail	<---	Durée Aller	.140	.041**
Distance domicile-travail	<---	Taux d'occupation par logement (TOL)	.424	***
Distance domicile-travail	<---	Age répondant	-.494	***
Distance domicile-travail	<---	Distance au centre	.343	***
Profession	<---	Fréquence des bus	-.154	.033**
Profession	<---	Type d'habitation	.227	.002**
Nombre de voiture	<---	Revenu	.439	***
Nombre de voiture	<---	Distance au TC	-.104	.124
Nombre de voiture	<---	Type d'habitat	.105	.153
La part modale de la marche à pied	<---	Durée aller	-.181	.004**
La part modale de la marche à pied	<---	Surface îlot	-.190	.004**
La part modale de la marche à pied	<---	Distance domicile-travail	-.457	***
La part modale de la marche à pied	<---	Profession	-.145	.013**
La part modale de la marche à pied	<---	Nombre de voiture	-.234	***
La part modale de la marche à pied	<---	Taux d'occupation par logement (TOL)	.122	.059*

***Significatif au niveau 0.001

** Significatif au niveau 0.05

* Significatif au niveau 0.1

Tableau 6- 14 : Effets directs et indirects de toutes les variables explicatives dans le modèle de la marche à pied.

	Effet	Surface îlot	Nombre De voiture	Profession	Distance domicile-travail	Part modale de la marche à pied
Fréquence Bus	Direct	-.149	.000	-.154	.000	.000
	indirect	.000	.019	.000	.000	.046
	Total	-.149	.019	-.154	.000	.046
Densité bâtie (COS)	Direct	-.482	.000	.000	.000	.000
	indirect	.000	.061	.000	.000	.077
	Total	-.482	.061	.000	.000	.077
Distance au centre	Direct	.223	.157	.000	.343	.000
	indirect	.000	-.028	.000	.000	-.229
	Total	.223	.128	.000	.343	-.229
Durée Aller	Direct	.141	.000	.000	.140	-.181
	indirect	.000	-.018	.000	.000	-.086
	Total	.141	-.018	.000	.140	-.267
Taux d'occupation par logement (TOL)	Direct	.000	.000	.000	.424	.122
	indirect	.000	.000	.000	.000	-.194
	Total	.000	.000	.000	.424	-.071
Revenu	Direct	.000	.439	.000	.000	.000
	indirect	.000	.000	.000	.000	-.103
	Total	.000	.439	.000	.000	-.103
Distance au TC	Direct	.000	-.104	.000	.000	.000
	indirect	.000	.000	.000	.000	.024
	Total	.000	-.104	.000	.000	.024
Age répondant	Direct	.000	.000	.000	-.494	.000
	indirect	.000	.000	.000	.000	.226
	Total	.000	.000	.000	-.494	.226
Type d'habitat	Direct	.000	.105	.227	.000	.000
	indirect	.000	.000	.000	.000	-.057
	Total	.000	.105	.227	.000	-.057
Surface îlot	Direct	.000	-.128	.000	.000	-.190
	indirect	.000	.000	.000	.000	.030
	Total	.000	-.128	.000	.000	-.160
Nombre de voiture	Direct	.000	.000	.000	.000	-.234
	indirect	.000	.000	.000	.000	.000
	Total	.000	.000	.000	.000	-.234
Profession	Direct	.000	.000	.000	.000	-.145
	indirect	.000	.000	.000	.000	.000
	Total	.000	.000	.000	.000	-.145
Distance domicile-travail	Direct	.000	.000	.000	.000	-.457
	indirect	.000	.000	.000	.000	.000
	Total	.000	.000	.000	.000	-.457

b. Discussion des résultats

Le modèle expliquant la part modale de la marche à pied est composé de 13 variables explicatives, dont quatre encouragent la marche à pied et neuf agissent inversement en réduisant le taux de la part modale de marche à pied.

Dans le registre des variables encourageant la marche à pied, on trouve l'âge du répondant comme première variable encourageant la marche à pied dans les déplacements domicile-travail. L'effet est indirect et est corrélé à travers la distance domicile-travail ($-0.494^* - 0.457$). L'effet total est 0.226 par écart type. Soit pour chaque dix ans de plus dans l'âge du répondant la part modale de la marche à pied augmente de 10.33%. La densité bâtie vient en deuxième position avec un effet indirect médié à travers la surface des îlots avec un effet de 0.091 ($-0.482^* - 0.19$) et à travers le nombre des voitures ($-0.482^* - 0.13^* - 0.23$). L'effet total s'élève à 0.077, soit pour chaque augmentation de la densité d'une valeur de 1, la part modale de la marche à pied augmente de 5.08 %. A travers la fréquence des bus, la mobilité piétonne est encouragée par un effet relativement faible de 0.046 par écart type. L'effet est indirect, à travers les surfaces des îlots de 0.0283 ($-0.149^* - 0.19$) et à travers le nombre des voiture de -0.0045 ($-0.149^* - 0.128^* - 0.234$) et à travers la profession 0.022 ($-0.154^* - 0.145$). L'effet total s'élève alors à 0.046 par écart type, soit pour chaque fréquence de bus en plus, la marche à pied augmente quand même, mais faiblement de 1.46%. La distance au TC arrive en quatrième position et semble affecter faiblement et positivement la part de la marche à pied avec un effet indirect de 0.024 à travers le nombre des voiture par ménage ($-0.10^* - 0.234$). Autrement dit, pour chaque augmentation de 300 mètres dans la distance au TC, la part modale de la marche à pied augmente de 1.2%.

Dans le registre des variables réduisant la part modale de la marche à pied, on trouve en première position la distance domicile-travail avec un effet direct de -0.46, soit pour chaque 1 km de plus de la distance au travail, le choix modal de la marche à pied baisse de -11.57 %. En deuxième position, arrive la durée aller au travail, qui impacte le choix modal de la marche à pied directement avec un effet de -0.181, et indirectement à travers la distance domicile-travail -0.0644 ($0.14^* - 0.46$), et à travers la surface des îlots de -0.026 ($0.14^* - 0.19$) et à travers le nombre des voitures par ménage de -0.0041 ($-0.14^* - 0.13^* - 0.23$). L'effet total s'élève à -0.267 par écart type, soit pour chaque 20 minutes de plus dans la durée des déplacements, la part modale de la marche à pied baisse de -14.47 %. Le nombre de voiture par ménage n'encourage pas la marche à pied et tend à réduire sa part modale avec un effet direct de -0.234 par écart type. En d'autres termes, pour chaque voiture de plus par ménage, la part modale de la marche à pied baisse de -20.14 %. C'est assez significatif en ce qui concerne la consommation de l'énergie pour les déplacements. En quatrième ordre, la distance au centre aussi n'encourage pas la marche à pied. Son effet est indirect à travers la surface des îlots ($0.223^* - 0.19$), à travers la distance domicile-travail ($0.343^* - 0.46$) et à travers le nombre de voitures ($0.157^* - 0.23$). L'effet total s'élève à -0.229, soit pour chaque 1 km de plus dans la distance au centre, la part modale de la marche à pied baisse de -15.85 %. La surface des îlots arrivent en cinquième position avec un effet direct de -0.19 et indirect à travers le nombre des voitures de 0.03 ($-0.13^* - 0.234$). L'effet total est de -0.16 par écart type, soit pour chaque 10 000 m² de plus dans la surface des îlots, la marche à pied baisse de -8.66%. En sixième position, on trouve la profession. La fonction libérale impacte négativement la part modale de la marche à pied avec un effet direct de -0.14 par rapport à la fonction publique. En d'autres termes, les libéraux ont tendance à marcher -13.2 %

moins que les fonctionnaires dans le secteur public. Le revenu arrive en septième position avec un effet indirect de -0.10 (0.44×-0.23), modéré à travers le nombre des voitures. En d'autres termes, pour chaque 15 000 Da de plus dans le revenu, la part modale de la marche à pied baisse de -5.35%. Le taux d'occupation par logement (TOL) arrive en huitième position, avec un effet direct de 0.12 et un effet indirect à travers la distance domicile-travail de -0.195 (0.424×-0.46). L'effet total est de -0.071 par écart type soit pour chaque membre de plus par ménage, la part modale de la marche à pied baisse faiblement de -2%. En dernière position, le type d'habitat (individuel ou collectif) n'encourage pas avec le type d'habitat individuel la marche à pied. L'effet est indirect et est médié à travers la profession (0.23×-0.14). Autrement dit, l'effet est de -0.057, soit les résidents dans le type individuel ont tendance à la marche moindre de -5.64% que les ménages habitants le collectif.

En rapportant les effets de toutes les variables par unité de mesure, comme présenté dans la figure ci-dessous, on peut observer l'importance de l'environnement bâti dans la structuration de la part modale de la marche à pied.

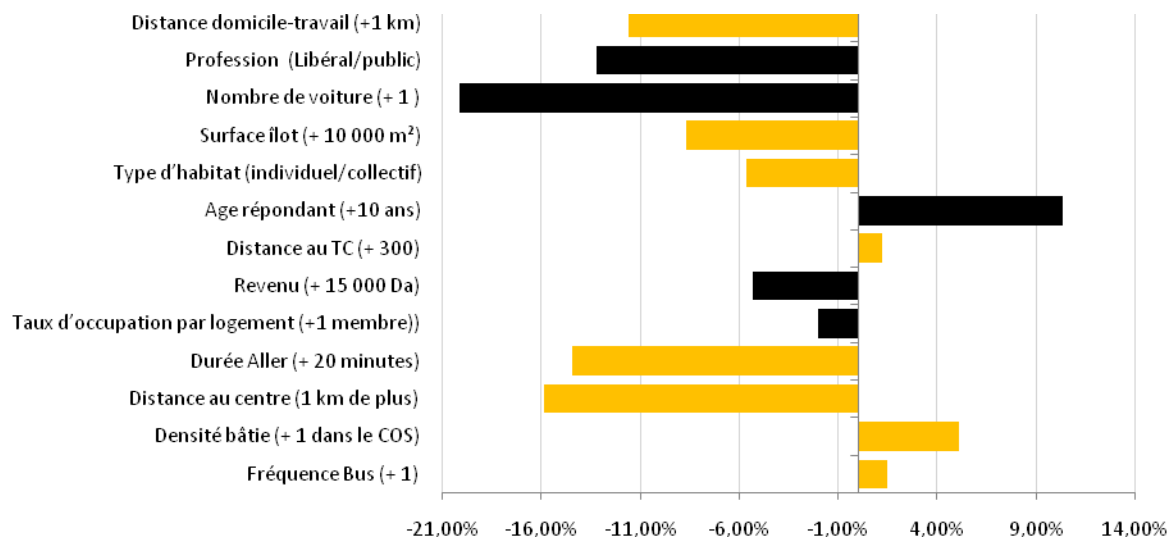


Fig 6- 23 : Effet des variables explicatives sur la part modale de la marche à pied par unité de mesure. En noir : les variables liées à l'occupant, en orange : variables de l'environnement bâti. Source : S.Boukarta

A titre indicatif sur l'effet global des deux grands registres, l'Environnement bâti et l'Occupant, nous avons additionné les effets de toutes les variables par registre et avons tracé le graphe ci-dessous, à partir duquel il nous paraît clair que dans la ville de Djelfa, l'environnement bâti n'encourage pas la marche à pied, mais plutôt l'utilisation des TC principalement et de la voiture particulière. Tandis que les caractéristiques socio-économiques de l'occupant encouragent principalement l'utilisation de la voiture particulière dans les déplacements domicile-travail (Voir figure, ci-dessous).

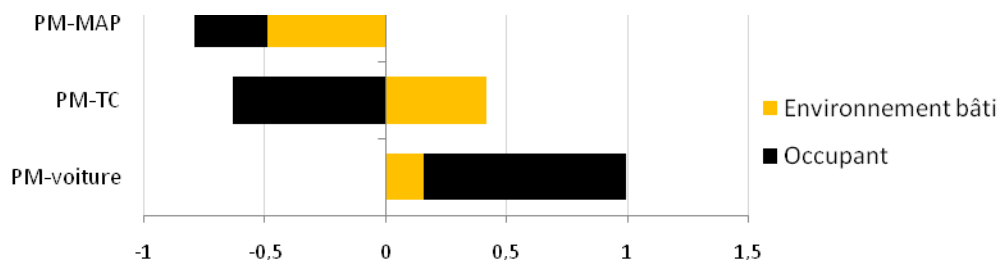


Fig 6- 24 : Effet global de l'environnement bâti et de l'occupant sur la part modale (PM) de la marche à pied, des TC et de la voiture. Source : S.Boukarta

6.4.4. Modélisation de la consommation d'énergie induite par la mobilité domicile-travail

Pour modéliser la consommation de l'énergie générée par la mobilité domicile-travail, il nous a fallu convertir la consommation des carburants vers le kWh par personne afin de rendre la comparaison possible entre les effets dus au bâtiment et à la mobilité. Marique et Reiter (2012) ont développé une méthode de conversion du carburant en kWh par personne dans les zones suburbaines en Belgique. La consommation en ville diffère de celle de la zone suburbaine ou hors ville, nous avons procédé alors à une contextualisation de l'approche : (i) En termes de consommation moyenne par voiture et par 100 km ; (ii) En ajoutant le GPL comme carburant car, d'après notre enquête, on a des véhicules roulant en Essence, en Gasoil et en GPL. (iii) Le taux d'occupation par voiture est une donnée qu'on a obtenue à travers notre enquête. (iv) Les caractéristiques des carburants. Comme l'APRUE ne fournit la conversion qu'en termes de masse de carburant par TeP, nous avons dû chercher la densité de chaque carburant. Pour les véhicules roulant en Diesel, la densité est obtenue de L'Organisme Algérien d'Accréditation, et la densité de l'essence et du GPL à partir d'Abouri et Siagh (2016). (v) Enfin, les facteurs de conversion sont tous obtenus de l'APRUE (2017). Pour la consommation moyenne des bus, on a essayé d'avoir la consommation moyenne de quelques bus, mais les chauffeurs des bus ne nous ont donné que le coût des déplacements par 2 jours et qui s'élève de 1300 à 1900 Da par deux jours. Il est difficile d'estimer le nombre de kilomètres parcourues sur cette base, ce qui nous a poussé à chercher chez les fabricants (Isuzu et Toyota) la consommation moyenne par 100 km et le taux d'occupation par moyen de déplacement (Coaster et bus Isuzu). Une fois la contextualisation faite, nous avons procédé au calcul de la consommation d'énergie générée par la mobilité et il est apparu que le bus présente la plus faible consommation par personne (0.1 kWh/personne et par déplacement en simple aller). Le GPL consomme pratiquement en moyenne le même volume que pour l'essence, mais son prix faible le rend avantageux par rapport à l'essence et il est aussi moins polluant. Pour le calcul de la consommation annuelle, nous avons estimé les journées ouvrables annuellement et qui sont de l'ordre de 225 jours. Les jours écartés des journées ouvrables sont les jours du congé annuel (30), les jours fériés⁷² (10), et les Weekends (100). Il est possible que les jours fériés arrivent en Weekend ou pendant le congé annuel. Notre estimation des journées ouvrables constitue le cas où les jours fériés, le congé annuel et les weekends ne coïncident pas.

Tableau 6- 15 : Conversion des carburants au kWh. Adapté au contexte local par S. Boukarta à partir de Marique et Reiter (2012).

Type de carburant	Moyen de déplacement			
	Voiture			Bus
	Diesel	Essence	GPL	Diesel
Consommation (L/km)	0,063*	0,075*	0,075*	0,2**
Taux d'occupation	1,27*	1,27*	1,27*	28**
Densité (Tonne/m ³)	0.825 ⁷³	0.735 ⁷⁴	0.55	0.825
Facteur de conversion (T carburant->TEP)***	1,015	1,054	1,084	1,015
Facteur de conversion (Tep ->kWh)	11630***			
Consommation kWh/km	0,61	0,68	0,52	1,95
Consommation kWh/pers.km par aller simple	0,48	0,53	0,41	0,07
Consommation kWh/pers.km par an (225 jours)	108	119.25	92.25	15.75

* obtenu des questionnaires, ** Obtenu du site web du fabricant (Toyota et ISUZU), *** Aprue (2017).

⁷² Les jours fériés sont : Premier janvier, Yennayer, El Mawlid Ennabawi, Achoura, Premier mai, 5 juillet, Aid el Fitr, Moharrem, Aid el Kbir, premier novembre.

⁷³ L'Organisme Algérien d'Accréditation, Certificat d'accréditation N 1-2-016, annexe technique, 2016.

⁷⁴ ABOURI, R., & SIAGH, H. (2016). *Production de l'essence sans plomb par amélioration du procédé de reforming catalytique*.

A partir de la base des calculs présentés dans le Tableau 6-13 ci-dessus, nous avons estimé la consommation d'énergie générée par la mobilité selon les distances domicile-travail, le moyen de déplacement et le type du carburant. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 6- 16 : Descriptif des données de consommation d'énergie générée par le déplacement domicile-travail.

	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type
Distance domicile-travail	50	18000	2206.91	1966.96
Consommation journalière (kWh/pers)	0.00	3.60	.4853	.788
Consommation annuelle (kWh/pers.an)	0.00	810.00	109.1854	177.31

a. Indices d'ajustement du modèle

Le tableau ci-dessous nous montre que le modèle obtenu répond positivement à tous les indices d'ajustement du modèle.

Tableau 6- 17 : indices d'ajustement du modèle de la consommation d'énergie due à la mobilité.

	df	χ^2	Probability level	RMSEA	NFI	CFI
Modèle de consommation d'énergie	53	47.785	0.677	0.000	0.948	1.000

La figure ci-dessous présente les effets directs entre les variables significatives dans le modèle. Et les seuils de signification sont présentés dans le tableau ci-dessous.

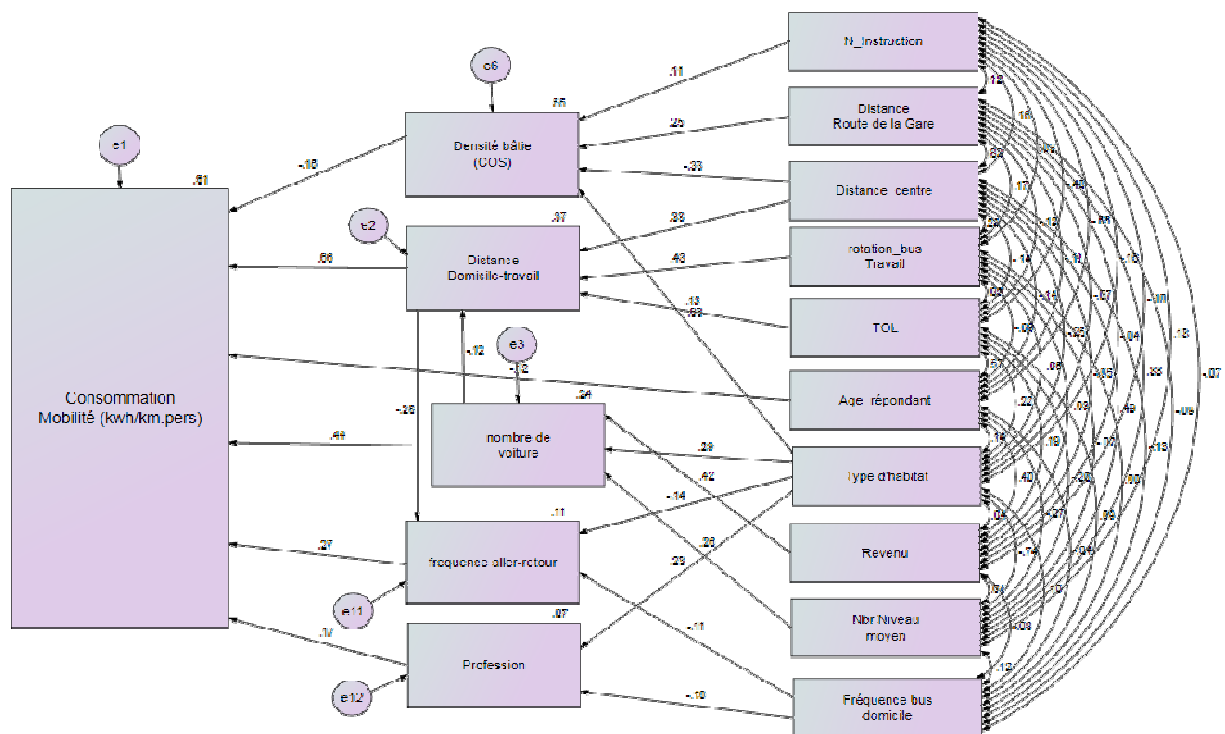


Fig 6- 25 : Effets directs des variables expliquant la consommation d'énergie générée par la mobilité domicile-travail.

Les tableaux 6-16 et 6-17 ci-dessous présentent respectivement, les effets directs et les seuils de signification, et les effets directs, indirects et totaux.

Tableau 6- 18 : Effets directs entre variables.

			Effet	P
Nombre des voitures	<---	Revenu	.425	***
Nombre des voitures	<---	Nombre de niveau moyen	.255	.019**
Nombre des voitures	<---	Type d'habitation	.295	.004**
Distance domicile-Travail	<---	Distance au centre	.330	***
Distance domicile-Travail	<---	Nombre de rotation des bus.	.427	***
Distance domicile-Travail	<---	Taux d'occupation par logement (TOL)	.130	.070*
Distance domicile-Travail	<---	Nombre des voitures	-.117	.071*
Densité bâtie (COS)	<---	Distance de la route de la gare	.252	.014**
Profession	<---	Fréquence des bus.	-.155	.032**
Densité bâtie (COS)	<---	Distance au centre	-.331	.002**
Densité bâtie (COS)	<---	Niveau d'instruction	.111	.061*
Profession	<---	Type d'habitat	.227	.002**
Fréquence Aller-retour	<---	Type d'habitat	-.139	.057*
Densité bâtie (COS)	<---	Type d'habitat	.664	***
Fréquence Aller	<---	Fréquence des bus.	-.105	.149
Fréquence Aller	<---	Distance domicile	-.285	***
Consommation (Kwh/personne.an)	<---	Distance domicile	.661	***
Consommation (Kwh/personne.an)	<---	Profession	.165	***
Consommation (Kwh/personne.an)	<---	Fréquence Aller-retour	.271	***
Consommation (Kwh/personne.an)	<---	Nombre des voitures	.448	***
Consommation (Kwh/personne.an)	<---	Densité bâtie (COS)	-.145	.007**
Consommation (Kwh/personne.an)	<---	Age répondant	-.119	.032**

***Significatif au niveau 0.001

** Significatif au niveau 0.05

*Significatif au niveau 0.1

Tableau 6- 19 : Effets directs et indirects des variables explicatives de la consommation d'énergie due à la mobilité.

	Effet	Nombre voiture	Distance Domicile-travail	Fréquence Aller-retour	Profession	Densité bâti (COS)	Consommation (KWh/km.personne)
Nombre de niveau moyen	Direct	.255	.000	.000	.000	.000	.000
	Indirec	.000	-.030	.009	.000	.000	.097
	Total	.255	-.030	.009	.000	.000	.097
Type d'habitat	Direct	.295	.000	-.139	.227	.664	.000
	Indirec	.000	-.035	.010	.000	.000	.016
	Total	.295	-.035	-.129	.227	.664	.016
Revenu	Direct	.425	.000	.000	.000	.000	.000
	Indirec	.000	-.050	.014	.000	.000	.161
	Total	.425	-.050	.014	.000	.000	.161
Taux d'occupation par logement (TOL)	Direct	.000	.130	.000	.000	.000	.000
	Indirec	.000	.000	-.037	.000	.000	.076
	Total	.000	.130	-.037	.000	.000	.076
Rotation bus	Direct	.000	.427	.000	.000	.000	.000
	Indirec	.000	.000	-.122	.000	.000	.249
	Total	.000	.427	-.122	.000	.000	.249
Distance au centre	Direct	.000	.330	.000	.000	-.331	.000
	Indirec	.000	.000	-.094	.000	.000	.241
	Total	.000	.330	-.094	.000	-.331	.241
Nombre de voiture	Direct	.000	-.117	.000	.000	.000	.448
	Indirec	.000	.000	.033	.000	.000	-.068
	Total	.000	-.117	.033	.000	.000	.379
Niveau d'instruction	Direct	.000	.000	.000	.000	.111	.000
	Indirec	.000	.000	.000	.000	.000	-.016
	Total	.000	.000	.000	.000	.111	-.016
Fréquence Bus	Direct	.000	.000	-.105	-.155	.000	.000
	Indirec	.000	.000	.000	.000	.000	-.054
	Total	.000	.000	-.105	-.155	.000	-.054
Distance de la route de la gare	Direct	.000	.000	.000	.000	.252	.000
	Indirec	.000	.000	.000	.000	.000	-.037
	Total	.000	.000	.000	.000	.252	-.037
Distance domicile-travail	Direct	.000	.000	-.285	.000	.000	.661
	Indirec	.000	.000	.000	.000	.000	-.077
	Total	.000	.000	-.285	.000	.000	.584
Age répondant	Direct	.000	.000	.000	.000	.000	-.119
	Indirec	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	Total	.000	.000	.000	.000	.000	-.119
Fréquence Aller- retour	Direct	.000	.000	.000	.000	.000	.271
	Indirec	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	Total	.000	.000	.000	.000	.000	.271
Profession	Direct	.000	.000	.000	.000	.000	.165
	Indirec	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	Total	.000	.000	.000	.000	.000	.165
Densité bâtie (COS)	Direct	.000	.000	.000	.000	.000	-.145
	Indirec	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	Total	.000	.000	.000	.000	.000	-.145

b. Discussion des résultats

La modélisation par équation structurelle nous a permis d'identifier 15 variables expliquant la consommation d'énergie générée par la mobilité dans la ville de Djelfa. En tout, 10 variables explicatives ont un effet augmentant la consommation d'énergie et 5 variables ont tendance à la réduire.

Dans le registre des variables génératrices de la consommation d'énergie, on trouve dans la première position, la distance domicile-travail qui a un effet direct de 0.66 et un effet indirect médié à travers la fréquence aller-retour -0.076 (-0.28×0.27). L'effet total est de 0.584 par écart type, soit pour chaque kilomètre de plus, la consommation d'énergie s'élève à 52.64 kWh annuellement. Le nombre de voitures arrive en deuxième position, avec un effet direct de 0.45 et un effet indirect à travers la distance domicile-travail de -0.079 (-0.12×0.66). L'effet total est de 0.379 par écart type (177.31 kWh), soit pour chaque voiture de plus par ménage, la consommation d'énergie augmente de 116.87 kWh/personne et par an. En troisième position, on trouve la fréquence aller-retour qui a un effet direct de 0.27 par écart type, soit pour chaque fréquence aller-retour en plus, la consommation d'énergie augmente de 93.87 kWh par personne annuellement. Le nombre de rotation des bus a un effet indirect médié par la distance domicile-travail de 0.284 (0.43×0.66) et à travers la fréquence des allers-retours -0.0325 ($0.43 \times -0.28 \times 0.27$). L'effet total est de 0.249, soit pour chaque rotation de bus, la consommation d'énergie augmente de 79.40 kWh/personne.an. La distance au centre occupe la cinquième position avec un effet indirect médié à travers la densité bâtie 0.05 (-0.33×-0.15) et à travers la distance domicile-travail 0.218 (0.33×0.66) et à travers la fréquence aller-retour -0.025 ($0.33 \times -0.28 \times 0.27$). L'effet total est de 0.241 par écart type, soit pour chaque kilomètre de plus dans la distance au centre, la consommation d'énergie augmentera de 61.35 kWh/personne annuellement. La profession arrive en sixième position avec un effet direct de 0.165 par écart type. Autrement dit, les libéraux ont tendance à consommer 55.726 kWh/personne annuellement de plus que les fonctionnaires du secteur public. Le revenu occupe la septième position en termes d'effet par écart type. Son effet agit indirectement par l'intermédiaire du nombre de voitures de 0.193 (0.43×0.45) et à travers la distance domicile-travail de -0.034 ($0.43 \times -0.12 \times 0.66$). L'effet total est de 0.161 par écart type, soit pour chaque 15 000 Da de plus, la consommation d'énergie augmente de 30 kWh/personne annuellement. En huitième position, arrive le nombre moyen de niveaux avec un effet indirect par l'intermédiaire du nombre des voitures par ménages de 0.117 (0.26×0.45) et à travers la distance domicile-travail de -0.0206 ($0.26 \times -0.12 \times 0.66$). L'effet total est de 0.097, soit pour chaque niveau de plus par îlot, la consommation d'énergie augmente par 16 kWh/personne annuellement. En neuvième position, on trouve le taux d'occupation par logement qui a un effet indirect médié par la distance domicile-travail de 0.0858 (0.13×0.66) et par la fréquence des allers-retours par ménage de -0.0098 ($0.13 \times -0.28 \times 0.27$). L'effet total est de 0.076, soit pour chaque membre de plus par ménage, la consommation d'énergie pour la mobilité augmente de 7.187 kWh/personne annuellement. En dernière position et avec le moindre effet générant la consommation d'énergie, arrive le type d'habitat qui a une série d'effets indirects, à travers la densité bâtie de -0.099 (0.66×-0.15), à travers le nombre des voitures de 0.135 (0.3×0.45), à travers la distance domicile-travail de -0.024 ($0.3 \times -0.12 \times 0.66$), à travers la fréquence aller-retour de -0.0378 (-0.14×0.27) et enfin à travers la profession de 0.391 (0.23×0.17). L'effet total s'élève à 0.016 par écart type seulement, soit un occupant résidant dans le type individuel a tendance à consommer 5.67 kWh/personne annuellement.

Dans le registre des variables explicatives ayant un impact réducteur de la consommation d'énergie, nous trouvons en tête de classement la densité bâtie avec un effet direct -0.15 par écart type, soit pour chaque valeur de 1 de plus dans la densité (COS), la consommation d'énergie baisse de -35.46 kWh/personne annuellement. En deuxième position, arrive l'âge du répondant, avec un effet direct médié par -0.12 par écart type, en d'autres termes, pour chaque dix ans de plus dans l'âge du répondant, la consommation d'énergie pour la mobilité domicile-travail baisse de -19.66 kWh/personne annuellement. La fréquence des bus dans l'environnement résidentiel, à son tour, est en troisième position, elle réduit la consommation d'énergie par un effet de -0.054, à travers la fréquence aller-retour -0.027 (-0.10*0.27) et à travers la profession -0.027 (-0.16*0.17). Autrement dit, pour chaque fréquence de bus en plus dans l'espace résidentiel, la consommation d'énergie pour la mobilité baisse de -6.13 kWh/personne annuellement. En avant dernière position arrive la distance par rapport à la route de la gare avec un effet faible de -0.037 et indirect à travers la densité bâtie. Pour chaque distance de 1 kilomètre de plus de la route de gare, la consommation d'énergie baisse de -9.41 kWh/personne annuellement. Le niveau d'instruction arrive en dernière position, avec l'effet le plus faible qui est de -0.016 par écart type à travers la densité. En d'autres termes, pour chaque palier d'instruction de plus la consommation d'énergie baisse de -2.67 kWh.personne annuellement.

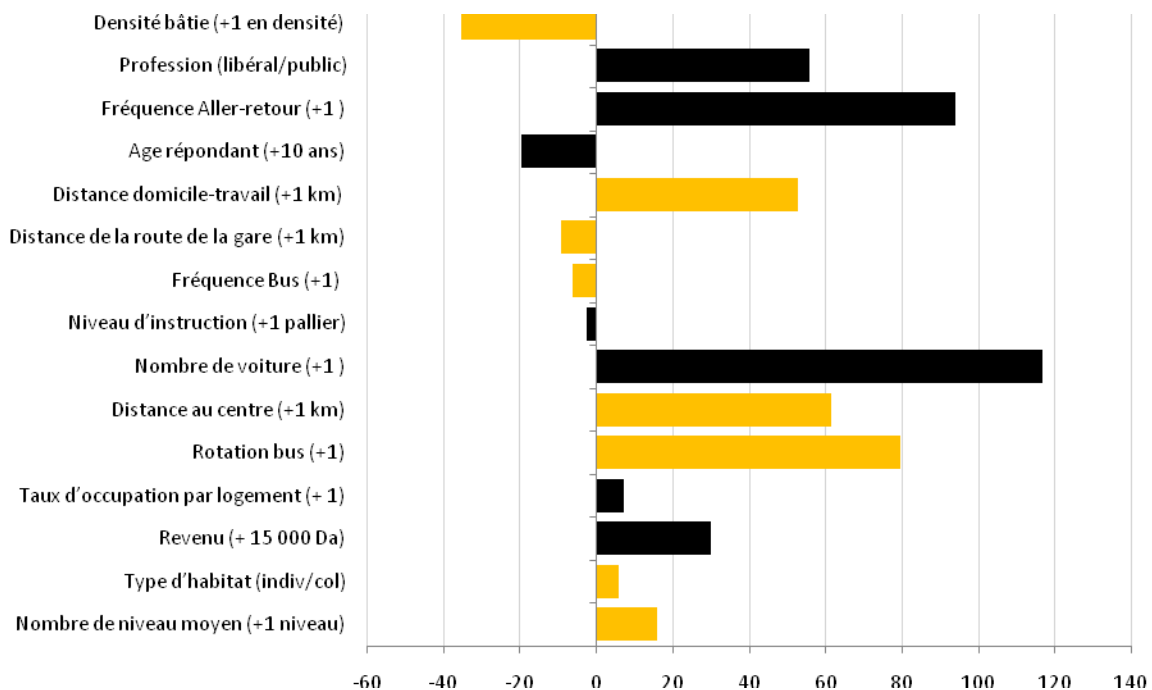


Fig 6- 26 : Effet des variables explicatives par unité de mesure sur la consommation d'énergie pour la mobilité Domicile-Travail. . En noir : les variables liées à l'occupant, en orange : variables de l'environnement bâti. Source : S.Boukarta

Nous sommes ainsi arrivés à la fin de notre évaluation relative à l'impact de la mobilité domicile-travail à Djelfa sur la consommation de l'énergie, ce qui nous permet d'en tirer des conclusions intéressantes.

Conclusion du Sixième Chapitre

Dans le présent chapitre, nous avons exploré la mobilité domicile-travail dans la ville de Djelfa afin de comprendre quels sont les paramètres de la forme urbaine, telle que modélisée et approfondie en chapitre 6, qui influent sur la mobilité domicile-travail en zone semi-aride. Pour ce faire, nous sommes passés par une enquête ménage conduite par des questionnaires fermés, à partir desquels nous avons pu dégager 24 variables pouvant expliquer les parts modales des moyens de déplacement, à savoir la voiture particulière, les transports en commun et la marche à pied. Chaque part modale a été explorée via une analyse bi-variée, une analyse en composante principale et enfin via une modélisation structurelle pour identifier les effets directs et indirects que les variables explicatives pourraient jouer dans le choix modal.

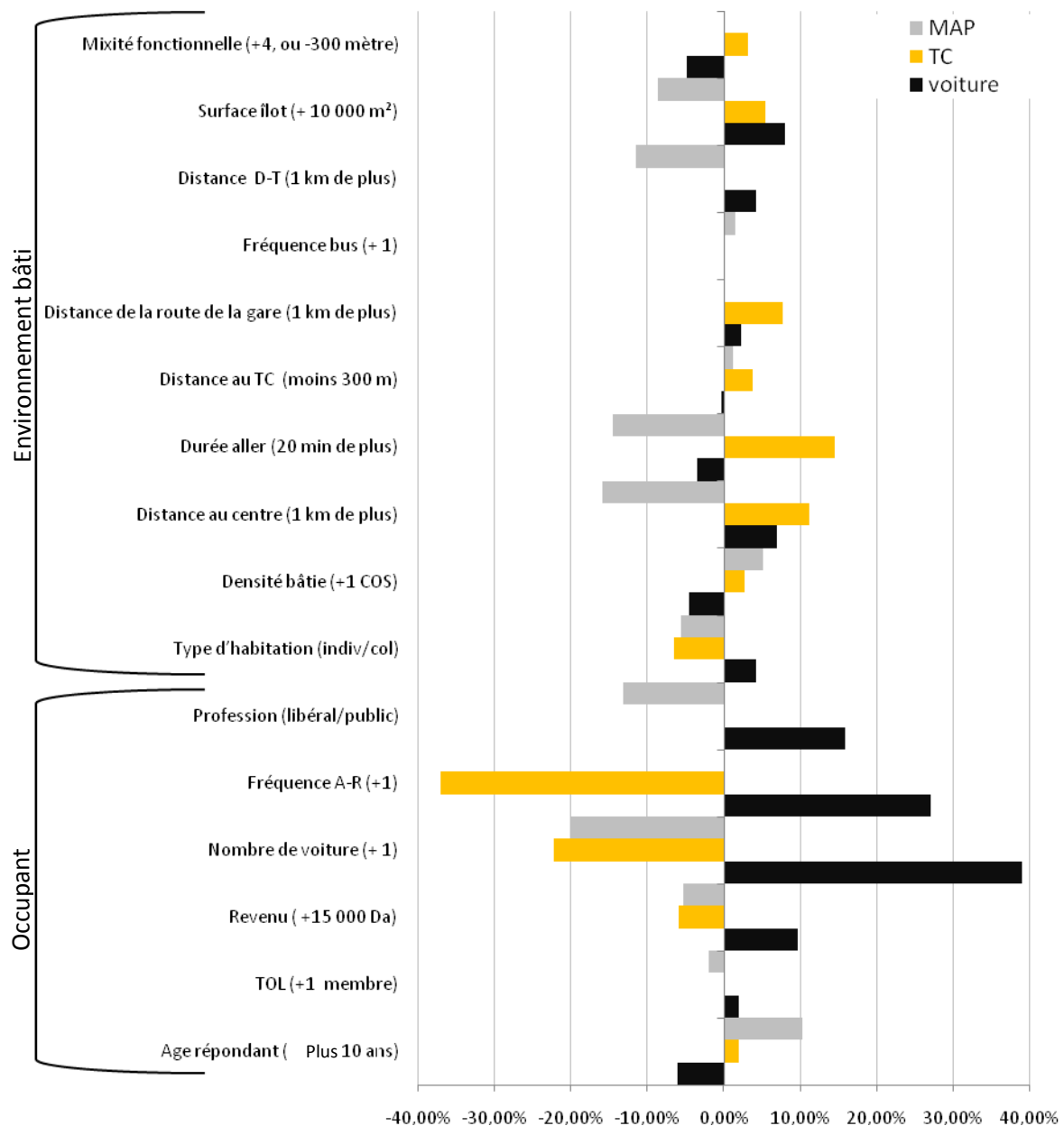


Fig 6- 27 : Synthèse des effets des variables explicatives sur la part modale de la voiture, des Tc et de la marche à pied.

Source : S.Boukarta

La Fig 6-27, ci-dessus, présente une synthèse des effets des variables explicatives sur la part modale de la marche à pied, de la voiture particulière et des TC. Les effets sont regroupés par registre de l'environnement bâti et celui de l'occupant.

Dans le registre des variables explicatives de l'environnement bâti, on a pu identifier 10 variables significatives. La mixité fonctionnelle a un effet positif en encourageant la part modale des TC tout en réduisant la part modale de la voiture particulière. Cependant, son effet reste relativement faible et réduit même la part de la marche à pied vers les lieux de travail, car la mixité fonctionnelle est concentrée dans la zone centrale de la ville. La surface des îlots réduit la marche à pied, car comme évoqué *supra*, les grands îlots se trouvent principalement dans les nouvelles extensions de la ville, moins dense avec faible taux de mixité fonctionnelle. La surface des îlots encourage la voiture particulière plus que les TC. La distance domicile-travail a un effet faible en encourageant l'utilisation de la voiture particulière. La fréquence des bus dans l'environnement résidentiel encourage la marche à pied principalement. Cette conclusion peut paraître contradictoire, mais il se trouve que la fréquence des bus est d'autant plus élevée dans la zone centrale (le pôle principal d'emploi) de la ville de Djelfa que dans la périphérie. La distance par rapport à la route de la gare encourage principalement l'utilisation des TC et faiblement la voiture particulière et d'une façon insignifiante la marche à pied. La route de la gare est l'extension de la RN 2, elle divise la ville en deux parties, Est et Ouest et assure du fait la liaison entre les deux parties. La distance au TC réduit faiblement le choix modal de la voiture particulière, et encourage davantage la marche à pied. La durée du déplacement est une variable plus importante que la distance domicile-travail, elle a un effet réducteur de la marche à pied.⁷⁵ La distance au centre constitue aussi une variable importante dans la structuration du choix modal, car le centre est caractérisé par sa mixité fonctionnelle et sa position centrale lui confère le rôle d'une charnière entre les différentes parties de la ville. Son effet sur le choix modal porte principalement sur la réduction de la marche à pied⁷⁶, elle encourage en contrepartie l'utilisation des TC et de la voiture particulière⁷⁷. La densité bâtie a un effet réducteur de la part modale de la voiture et encourage les TC et la marche à pied pour chaque augmentation de +1 dans la densité. Le type d'habitation a un impact clair : par rapport au type collectif, le type individuel est associé à plus de déplacement en voiture et moins de marche à pied et de TC.

Dans le registre des variables liés à l'occupant, nous avons pu identifier cinq variables. La profession est étudiée par rapport au secteur d'attachement, les libéraux ont tendance à se déplacer près de 16% de plus vers les lieux de travail en voiture et à marcher -13.2% par rapport aux fonctionnaires du secteur public. La fréquence aller-retour constitue une variable importante dans le choix modal, elle encourage l'utilisation de la voiture de 27% et réduit le choix modal des TC de 37%. Le nombre de voitures est la variable la plus importante avec un effet encourageant de 39% l'utilisation de la voiture dans les déplacements domicile-travail, et un effet réducteur de -20 et -22 % de la part modale de la marche à pied et des TC respectivement. Le revenu agit de la même manière que le nombre des voitures et tend du fait à encourager les déplacements motorisés de près de 10%, tout en réduisant la part modale des TC et de la marche à pied de près de -6% et 5.5% respectivement, et ce pour chaque 15 000 Da de plus dans le revenu. En d'autres termes, si on ajoute 4 fois notre unité de mesure de l'effet (15 000 Da) soit 60 000 Da au revenu, ce dernier prendra la tête du classement

⁷⁵ De près de -14.47%, elle encourage par ailleurs le choix modal des TC de 14.5% et réduit de -3.56% la part modale de la voiture pour chaque 20 minutes de plus dans la durée du déplacement.

⁷⁶ De près de -16%.

⁷⁷ De 11.8% et 6.88% respectivement pour chaque 1 kilomètre de plus.

et s'aligne au même niveau que pour la plupart des études revues dans la littérature scientifique dans le chapitre 4. Le taux d'occupation par logement a un effet encourageant pour tous les choix modaux mais davantage pour la marche à pied. Enfin, l'âge du répondant agit sur le choix modal de la même manière que la densité bâtie, en réduisant la part modale de la voiture et en augmentant celle de la marche à pied et des TC.

La revue des 16 variables nous a permis de se rendre compte de l'effet important que peut jouer l'occupant dans la structuration du choix modal des déplacements domicile-travail et notamment avec le revenu et le nombre des voitures. Aussi, il en ressort de cette étude qu'il y a une différence claire dans l'environnement bâti entre le centre et sa périphérie qui s'agrandit pour ne répondre qu'au problème de la crise du logement. La consommation d'énergie qui en découle est accentuée par plusieurs paramètres : la faible mixité fonctionnelle, la faible densité, l'importante distance au centre, la distance de la route de la gare, la faible fréquence des bus et l'importance des îlots quasiment monofonctionnels et importants en termes de surface, ce qui décourage la marche à pied et accentue du fait la consommation d'énergie induite par la mobilité.

Enfin, en se basant sur les parts modales des moyens de déplacement, les distances domicile-travail et les bases de conversion des différents carburants, ainsi que le taux d'occupation par moyen de déplacement, nous avons dans un premier temps calculé l'énergie nécessaire pour le déplacement domicile-travail. Puis, dans un second temps, nous avons exploré à travers une modélisation par équation structurelle les effets directs et indirects des variables explicatives sur la consommation induite par la mobilité domicile-travail. En tout, nous avons identifié 15 variables dont 10 augmentent la consommation d'énergie et 5 tendent plutôt à la réduire. Les plus importantes variables augmentant la consommation d'énergie sont le nombre de voitures, la fréquence des allers-retours, le nombre de rotation de bus, la profession (libérale), la distance au centre et le revenu. Le nombre de niveaux moyen, le type d'habitat, le taux d'occupation par logement viennent augmenter la consommation d'énergie, mais avec moins d'importance. Parmi, **les variables réduisant la consommation d'énergie**, on trouve la densité bâtie, l'âge du répondant, la distance au centre, la fréquence des bus et avec un effet faible et en dernière position, le niveau d'instruction.

Dans la conclusion de la troisième partie 3 de notre thèse, une comparaison en termes de consommation d'énergie induite par le bâtiment avec et sans occupant et celle induite par la mobilité sera exposée.

Conclusion de la Troisième Partie

Dans la présente partie, nous avons exploré le potentiel de maîtrise de l'énergie (PME) à travers les déterminants du triptyque de la forme urbaine identifiés dans la première partie de notre recherche : le bâtiment et son intégration dans le tissu urbain (chapitre 5) et la mobilité (chapitre 6), à travers une approche holistique qui considère l'occupant et ses caractéristiques comme déterminant central dans l'analyse.

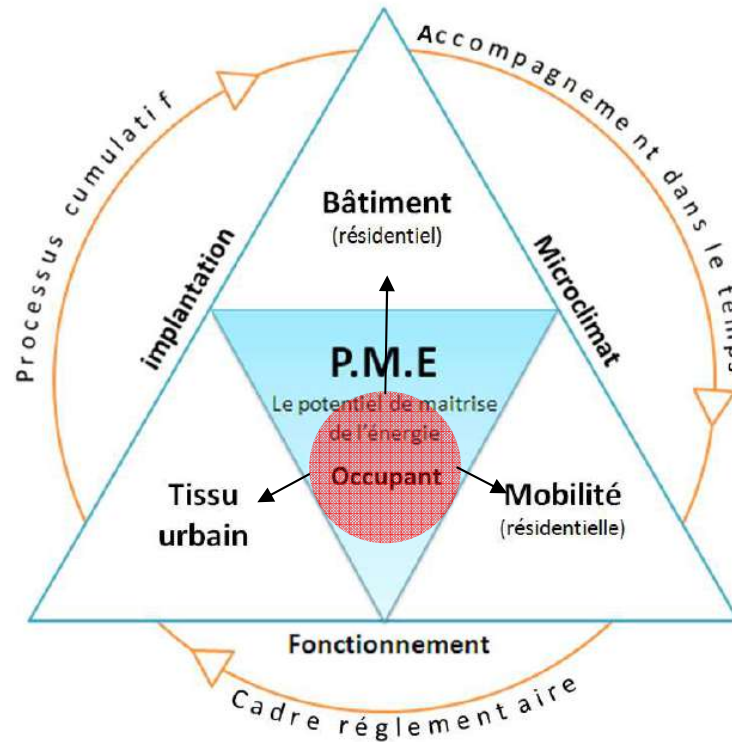


Fig 6- 28 : Rappel du triptyque des déterminants de la forme urbaine générant le PME (voir Chapitre 5).

Le potentiel de maîtrise de l'énergie a été analysé après avoir collecté, traité et développé les bases de données. L'analyse s'est déroulée en trois étapes : une analyse en composante principale pour explorer les proximités potentielles entre les variables arrêtées, une analyse bi-variée pour explorer les corrélations potentielles entre variables explicatives. Les deux premières étapes ont une portée d'exploration permettant, sans les confirmer, de poser les hypothèses de causalités que les variables explicatives peuvent tisser entre elles. La troisième étape est conduite par modélisation par équation structurelle (MES). Elle sert à pousser l'exploration afin d'arriver à une confirmation ou infirmation des pistes de causalités posées à travers les deux premières étapes.

Dans la première partie du chapitre 5, le rôle de l'occupant s'est révélé important et significatif dans le modèle. Nous avons découvert par exemple qu'une augmentation du taux d'occupation par logement a l'effet le plus important sur la consommation du gaz et de l'électricité. Les variables explicatives liées au bâtiment (l'âge des habitations et le type d'habitation), se sont révélées, par contre, sans effet significatif dans le modèle. L'urbanisation rapide et toute récente de la ville de Djelfa pourrait l'expliquer. Le fait que globalement, les habitations ont été construites selon le même mode constructif, a probablement atténué et réduit l'effet des caractéristiques des habitations à l'insignifiant.

Pour comprendre le potentiel de maîtrise de l'énergie des paramètres liés au bâtiment, nous avons lancé une campagne de simulation en les faisant varier sur un modèle générique. Chaque variation de paramètre est ensuite analysée en corrélation avec l'indice de performance énergétique. Cette approche nous a permis d'identifier les valeurs des variables les plus significatives avec leur effet potentiel d'économie d'énergie qui en découle. Pour comprendre les interrelations que tissent ces variables entre elles, nous avons développé une analyse en composante principale et analyse bi-variée afin d'identifier les proximités potentielles entre les variables, explorées ensuite par une modélisation par équation structurelle. Les résultats de cette deuxième approche nous ont permis d'identifier le rôle structurant de la qualité de l'enveloppe, à partir de laquelle les variables de la forme et de l'environnement prennent effet sur la demande énergétique pour le chauffage et la climatisation dans le bâtiment.

Les deux parties du chapitre 5 nous ont ainsi permis d'arriver à identifier avec précision l'effet des paramètres sur la variation de l'indice de performance énergétique dans le bâtiment avec et sans occupant dans la zone semi-aride de la ville de Djelfa. Enfin, une comparaison entre les résultats des deux approches (avec et sans l'effet de l'occupant), nous a permis de distinguer sur le même graphe l'importance de chaque paramètre. Ainsi, nous pouvons conclure que l'occupant, avec ces caractéristiques socioéconomiques, constitue une variable très importante, tout comme les variables liées aux bâtiments, et qu'il est donc important de le prendre en considération lors de l'élaboration de la politique de maîtrise de l'énergie.

Les conclusions du chapitre 5 sont significatives à ce sujet. La politique énergétique actuelle s'intéresse principalement à la qualité de l'enveloppe pour réduire la demande énergétique des bâtiments. Cependant, les habitations individuelles ne sont pas concernées par le caractère obligatoire de l'isolation thermique, selon l'orientation de l'article 12 de la loi 99-09. Alors que les tissus urbains de certaines villes, celles du Sud du pays notamment, sont composés majoritairement d'habitations individuelles. A Djelfa, plus de 70% des habitations sont de type individuel (PATW : 2014). L'occupant y est actuellement abordé seulement par des campagnes de sensibilisation, alors que des paramètres urbains de programmation, tels que le taux d'occupation par logement, par chambre, la densité, ainsi que des paramètres liés à l'âge et le revenu, ne sont point considérés comme des variables pouvant structurer la demande énergétique.

A travers le chapitre 6, nous avons exploré ensuite le potentiel de maîtrise de l'énergie à travers la mobilité résidentielle, de type domicile-travail. En reprenant les mêmes étapes appliquées dans le chapitre 5, nous avons élaboré une base de données composée de 24 variables pouvant potentiellement expliquer la consommation d'énergie induite par la mobilité. En appliquant l'analyse bi-variée, l'analyse en composante principale et la modélisation par équation structurelle, nous sommes arrivés à 4 modèles expliquant respectivement, la part modale de la voiture particulière, de la marche à pied, des TC et enfin la consommation d'énergie qui en découle. En tout, nous avons obtenu une batterie de 16 indicateurs représentant nos deux registres qui conditionnent la mobilité, l'environnement bâti et l'occupant. L'effet de chaque variable a été discuté sous l'optique de son effet sur le choix modal et sur la consommation d'énergie qui en découle.

Au terme de l'analyse effectuée dans les deux chapitres, il nous est possible de dresser une comparaison des résultats obtenus en les rapportant à la consommation d'énergie induite par le

bâtiment et la mobilité, avec la même unité de mesure, le kWh/personne annuel. Sur le graphe ci-dessous, on peut bien lire dans un premier temps que le registre du bâtiment est plus important que la mobilité en termes de potentiel de maîtrise d'énergie. On peut aussi remarquer que l'occupant a un rôle important à jouer dans la politique de maîtrise de l'énergie et que **les instruments d'aménagement et d'urbanisme peuvent introduire la dimension énergétique en s'appuyant sur des orientations de la conception des ensembles urbains portant aussi bien sur l'occupant que sur l'environnement bâti**. Si les résultats relatifs au cas de Djelfa en zone semi-aride pourraient être corroborés par des analyses effectuées sur d'autres villes de cet étage climatique en Algérie, un guide de conception énergétique de tissus urbains de cette zone pourrait être élaboré au service des maîtres d'œuvre et de maîtres d'ouvrage.

Du graphe ci-dessous, il ressort par exemple clairement que le niveau d'instruction a un effet très faible dans la réduction de la consommation de l'énergie induite par la mobilité, alors que pour le bâtiment, l'effet agit dans le sens inverse. Plus encore, la densité bâtie a un effet réducteur sur la consommation d'énergie générée par la mobilité de l'ordre de -35 kWh par personne annuellement, alors que la densité de population l'augmente, à travers la consommation du gaz, de plus de 160 kWh par personne annuellement. Il vaut donc mieux construire dense, mais en respectant un certain seuil de densité de population qu'il s'agirait de déterminer en fonction de la zone géo-climatique.

Le taux d'occupation par logement augmente la consommation d'énergie de près de 7.2 kWh/personne annuellement pour la mobilité, alors que dans le bâtiment, la même variable tend à réduire la consommation de près de 666 kWh par personne annuellement. Par ailleurs, le taux d'occupation par pièce annule les économies potentiellement réalisables par le taux d'occupation de logement, avec un effet de 669 kWh par personne annuellement. Les variables telles que l'orientation, le taux de vitrage, la compacité du volume bâti, la résistance thermique du plancher et des fenêtres peuvent réaliser des économies potentielles en moyenne de -200 kWh/personne annuellement, alors que la résistance thermique des murs extérieurs peut faire des économies d'énergie de près de -400 kWh/personne pour un logement de 70 m². Enfin, le prospect a pour un bâtiment un effet faible, estimé à près de -27 kWh/personne annuellement. Ces éléments donnent des orientations concrètes qui pourraient être prises en charge par des règlements de la construction et les règlements relatifs à la conception des tissus urbains.

Pour la mobilité, et comme déjà évoqué *supra*, les variables liées à l'occupant ont toutes un effet augmentant la consommation d'énergie (notamment le nombre des voitures, le revenu et la fréquence des allers-retours), sauf pour le niveau d'instruction et l'âge qui n'en réduisent que 23 kWh/personne annuellement. Alors que les variables liées à l'environnement bâti, comme la distance domicile-travail, la distance au centre, le nombre de rotations sont les principales variables augmentant la consommation d'énergie. En contrepartie, on ne trouve que la densité, la distance à la route de la gare et la fréquence des bus, qui participent à l'économie de l'énergie (Voir figure ci-dessous).

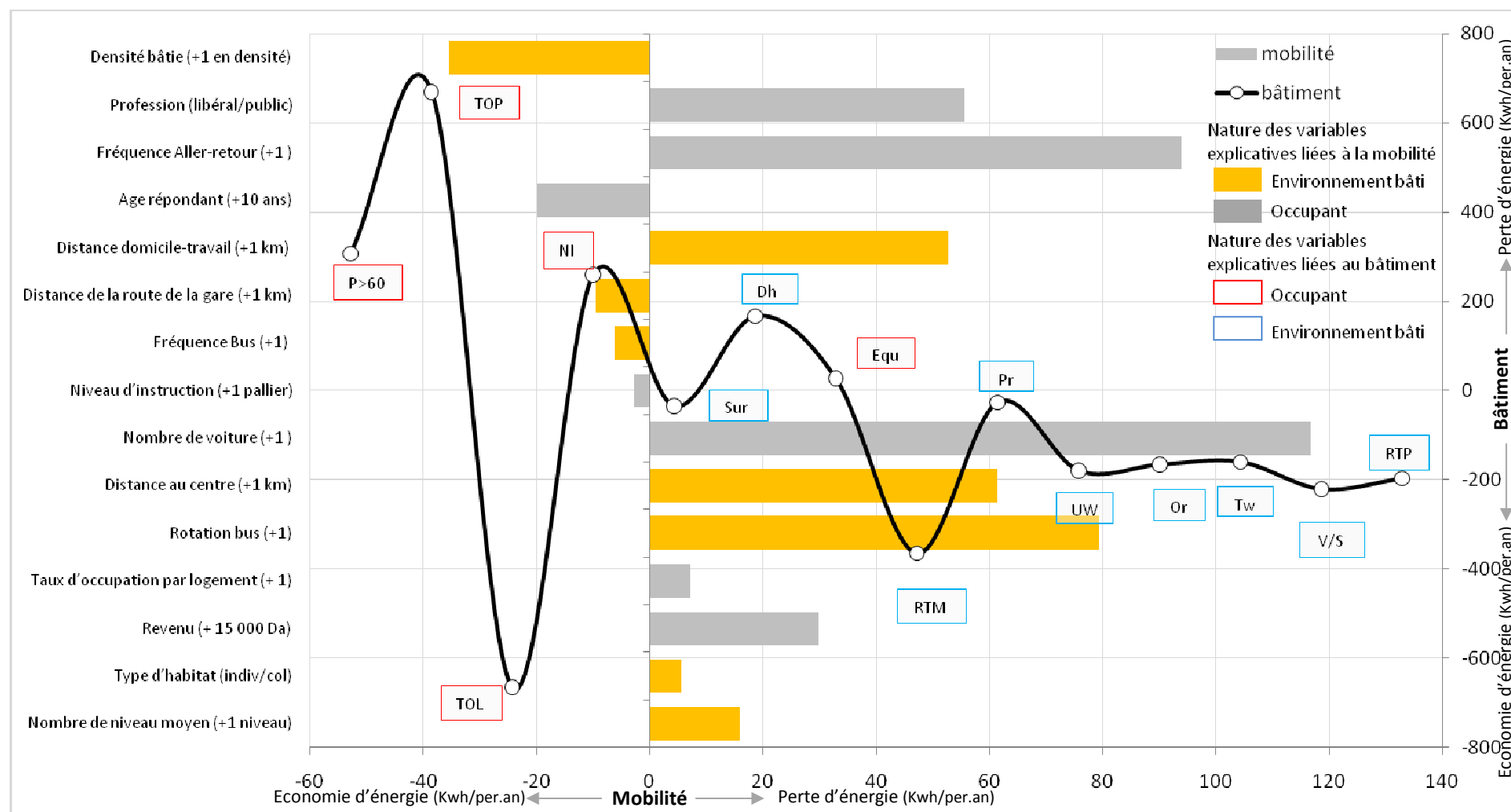


Fig 6- 29 : Impact total de chaque variable estimée en kWh/personne annuellement. Axe vertical (Bâtiment) : économie ou perte de l'énergie en kWh/pers.an. Axe horizontal (mobilité) : économie ou perte de l'énergie en kWh/pers.an. Pour le bâtiment : la lecture se fait sur l'axe secondaire (vertical), où les variables encadrées en rouge sont liées à l'occupant, et celles encadrées en bleu, constituent les variables liées au bâtiment. Avec : P>60, personne âgée de plus de 60 ans, TOL : taux d'occupation par logement, TOP : taux d'occupation par pièce, NI : niveau d'instruction, Sur : surface moyenne d'habitation, Dh : densité de population, Equ : taux d'équipement (TV, réfrigérateur, machine à laver et climatiseur), RTM : résistance thermique des murs, Pr : prospect, Uw : coefficient de transmission des fenêtres, Or : orientation, Tw : taux de vitrage, V/S : compacité, RTP : résistance thermique du plancher. Pour la mobilité, les barres en orange : les variables liées à l'environnement bâti, les barres en gris : les variables liées à l'occupant. Source : S.Boukarta

L'analyse comparative nous permet, à ce stade, de confirmer notre deuxième hypothèse conférant à l'occupant un rôle structurant dans la demande énergétique et qu'il serait judicieux de considérer dans la conception et l'élaboration de la politique énergétique.

Sous l'optique de nos résultats, l'élaboration de la politique énergétique peut se développer selon une approche multiscalaire en trois étapes : (i) la première étape consisterait à lancer un observatoire afin de collecter les données de consommation d'énergie avec les caractéristiques liés aux bâtiments et aux occupants, afin d'établir un diagnostic à l'échelle des communes. Les communes ayant le même comportement quant aux variations des paramètres explicatifs pourraient ensuite être regroupées afin de recevoir des orientations de la politique énergétique adaptées aux communes en question. (ii) comme deuxième étape, une analyse de sensibilité serait indispensable à conduire à l'échelle du bâtiment. Pour ce faire, une caractérisation du cadre bâti par type serait nécessaire, où chaque type serait identifié par une série de variables. Par simulation des variables dans un modèle générique, la modélisation permet de tester les possibilités techniques et technologiques d'induire l'économie d'énergie. (iii) dans la troisième étape, les résultats des deux analyses pourront être introduits dans les instruments d'aménagement comme orientation portant sur la maîtrise de l'énergie.

L'échelle qui nous paraît la plus appropriée à l'introduction des orientations de maîtrise de l'énergie est celle de la commune (ou inter-communale), car la commune est à la fois, consommatrice, distributrice et productrice d'énergie, et agit à la fois tant que « urbaniste » ou « aménageur » et comme « incitatrice » à travers l'organisation et l'implication des acteurs (Magnin : 2001). L'échelle de la commune permet d'introduire les orientations pour une maîtrise énergétique à travers le PDAU comme instrument stratégique (à l'échelle de la commune) et le POS comme instrument de détail (échelle d'un quartier ou fragment urbain). Une échelle plus grande, portant sur l'aménagement du territoire, risque d'omettre les différences climatiques et socio-économiques des ménages. L'échelle du SRAT (actuel SEPT) qui regroupe les 48 wilayas en 9 région-programme, nous paraît peu précise pour comprendre les spécificités locales des communes quant à la maîtrise de l'énergie. Cependant, les résultats du diagnostic réalisé à l'échelle des municipalités peuvent servir comme appui dans les instruments d'aménagement (SRAT et PATW), pour financer les actions nécessaires à la mise en œuvre de la politique énergétique et qui seront applicables à travers les instruments d'urbanisme locaux (PDAU et POS).



Fig 6- 30 : Découpage régional selon la consommation de l'énergie. Source : APRUE (2015).

L'APRUE a déjà mis en place un zoning régional (Aprue : 2015) selon la consommation d'énergie moyenne par habitant due aux bâtiments et à la mobilité (voir figure 6-29, ci-dessus). Cependant, les régions identifiées sont tellement larges géographiquement et contiennent des communes situées dans des étages climatiques différents, qu'il serait difficile de donner des orientations précises à cette échelle-ci (voir figure ci-dessous). Aussi, ce découpage n'est aligné sur aucun découpage existant (SRAT/SEPT) pouvant faciliter l'application des orientations de la politique énergétique.

Le schéma ci-dessous retrace notre proposition quant à l'intégration des orientations pour la maîtrise de l'énergie dans les instruments d'urbanisme :

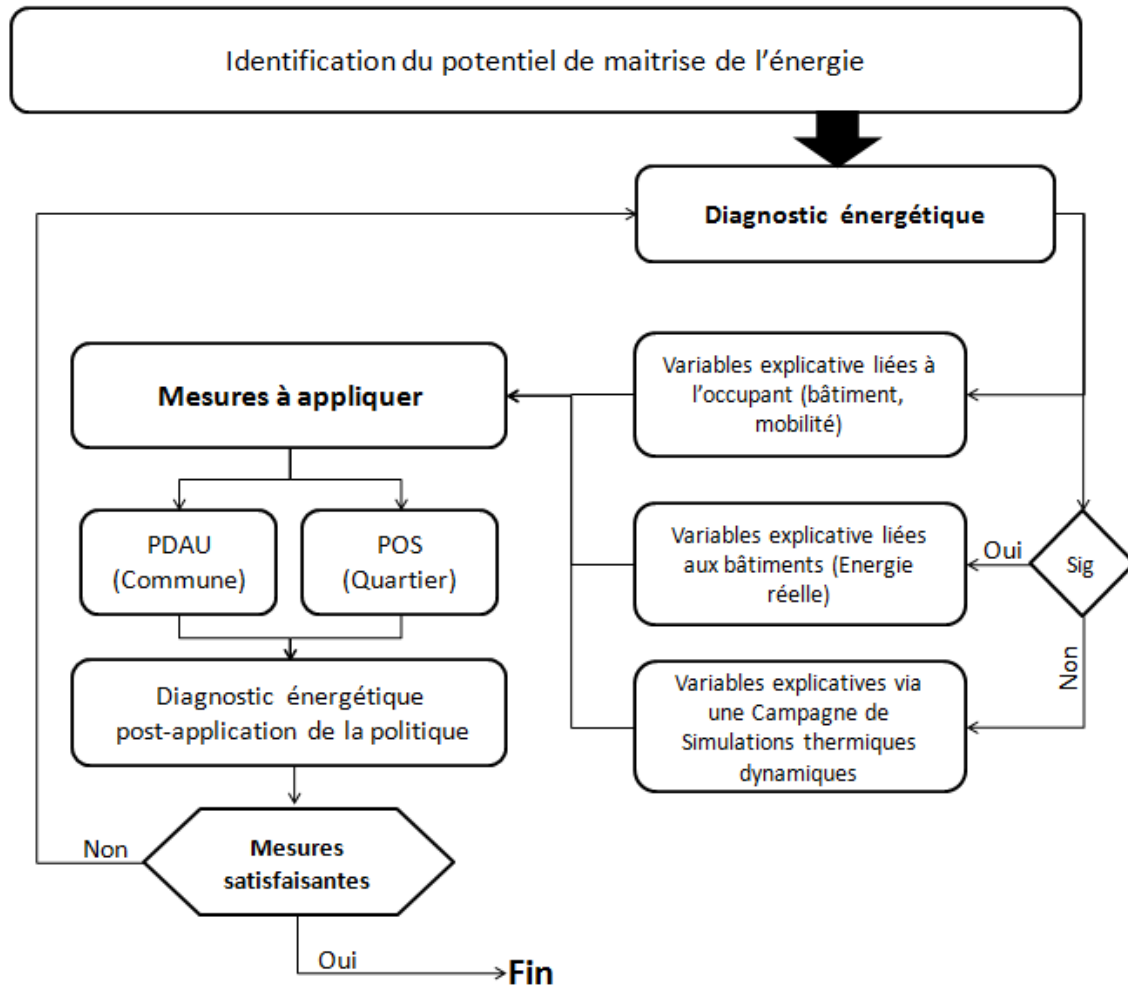


Fig 6- 31 : Protocole de mise en œuvre de la politique énergétique. Source : S.Boukarta

Enfin, comme toute politique, la maîtrise de l'énergie a nécessairement besoin d'une organisation et coordination du jeu d'acteurs à différentes échelles, pour permettre une meilleure application de la politique énergétique.



CONCLUSION GENERALE

1. Retour sur les résultats de la recherche

1.1. Intérêt et objectif

La consommation d'énergie ne cessera point de progresser tant qu'il y aura la croissance démographique. Par ailleurs, le monde aujourd'hui devient de plus en plus urbanisé et nécessite donc davantage d'énergie pour fonctionner et satisfaire le besoin des populations et de leurs activités. Les crises économiques successives causées par les chocs pétroliers et la raréfaction des énergies fossiles, ainsi que la confirmation des risques qui menacent les milieux urbains suite aux changements climatiques, ont fait que les Etats à travers le monde se sont rendus compte de la gravité de la situation et ont, du fait, posé les jalons d'une prise de conscience concrétisée par une multitude de conférences internationales et ratifications des engagements et protocoles, pour que le développement des pays soit orienté sur une trajectoire plus efficiente, selon une logique de durabilité. Parmi les engagements que l'Algérie a pris, entant que partie prenante dans ce processus communautaire global, figurent différentes actions estimées à l'échelle nationale à travers des inventaires, observatoires et diagnostics. La réduction de sa part de consommation d'énergie mondiale et la mise en place des moyens pour réduire les émissions des gaz à effet de serre et atténuer les risques environnementaux qui peuvent en découler, constituent deux engagements fondamentaux de notre pays.

Notre thèse s'intègre par conséquent dans cette logique d'optimisation de la dépense énergétique, dans une optique multi-scalaire afin de comprendre les structurations potentielles de cette demande et donner ainsi des appuis pour une prise de décision.

1.2. Méthodes et résultats obtenus

La **première partie de la thèse** pose les jalons théoriques et politiques du contexte national. Dans le premier chapitre, nous avons passé en revue la politique énergétique nationale depuis l'indépendance à nos jours. Il est clair aujourd'hui que le pays est conscient des risques qu'il encourt si aucune prise de décision n'est prise pour changer la dépendance de toute l'économie nationale sur des rentes des hydrocarbures. Le gouvernement a mis en place plusieurs stratégies encadrées par le PNME, le plan national de maîtrise de l'énergie, pour mettre en place une économie reposant sur

une pluralité énergétique. La transition énergétique ainsi prônée par le plan national repose sur quatre piliers : un cadre législatif adapté, un fond national pour financer les opérations ciblées, une introduction du renouvelable à hauteur de 37% à l'horizon 2030 et une efficacité énergétique mise en œuvre à travers l'optimisation des systèmes énergétiques dans les différents secteurs d'activités. Nous avons conclu le chapitre par une analyse AFOM mettant en exergue les aspects endogènes et exogènes de la politique énergétique du pays. Parmi les points faibles, il faut citer par exemple la centralisation des actions et des institutions chargées d'appliquer le plan national de maîtrise de l'énergie, la faiblesse de coordination entre acteurs, un taux d'intégration technologique insuffisant et enfin un faible profit des financements étrangers proposé à l'échelle internationale. Ce constat nous amène à se poser la question de la faisabilité de la mise en œuvre des objectifs assignés par le PNME, en l'absence d'outils d'application à l'échelle locale de la ville.

Dans le deuxième chapitre, une revue de la littérature scientifique portant sur la maîtrise de l'énergie est effectuée, à travers la lecture de 37 études et articles nationaux publiés. Il nous est apparu d'abord que la recherche scientifique en Algérie adopte une approche multi-scalaire, en s'intéressant au législatif, à l'habitant, jusqu'à l'échelle régionale, voire du pays. Toutes les échelles sont abordées avec des degrés de concentration et des objectifs très variés. L'échelle urbaine et celle de l'occupant⁷⁸ se sont révélées les moins étudiées de toutes les échelles, qui restent plutôt de portée territoriale. Notre thèse explore ce volet de recherche, en visant à identifier la portée énergétique due aux bâtiments, au tissu urbain et à la mobilité, en s'appuyant sur l'occupant comme entrée. Une autre analyse AFOM est conduite à l'issue de cette revue, pour apprécier la situation de la recherche sur l'énergie en Algérie. Parmi les points faibles que nous avons identifiés, on peut citer par exemple le faible réseautage entre les différents profils des chercheurs ; faible taux d'application des résultats, ou encore une faible transcription réglementaire des résultats des recherches.

Cette première partie de la thèse nous a éclairés sur le contexte énergétique dans notre pays, en pleine dynamique de transition vers un mix énergétique. Elle nous a permis aussi d'identifier les dimensions ou les aspects peu abordés, pour mieux orienter les cibles de notre apport de chercheur vers les objectifs de recherche pour le développement R&D. La forme urbaine et son potentiel de maîtrise de l'énergie à travers des aspects structurels, fonctionnels et réglementaires apparaît comme un domaine d'exploration riche en enseignements.

La **deuxième partie de la thèse** nous éclaire ensuite sur la compréhension des concepts qui gravitent autour de la synergie forme urbaine / énergie, suivie de l'exploration de l'état de l'art qui nous permettra d'identifier la portée énergétique des registres conceptuels pré-identifiés.

Dans le troisième chapitre, la définition de la forme urbaine, à connotations plurielles, s'achemine sur une constante qui reste l'approche systémique. La forme urbaine se définit comme un système dont la composition est inhérente à la spécialité de ses auteurs. En visant l'objectif d'explorer les différentes entrées pouvant décrire les interrelations entre la forme urbaine et la demande énergétique, nous en avons identifié quatre : le registre de la morphologie urbaine, le registre de la réglementation, le registre de la mobilité et enfin le registre de l'occupant. Chaque registre contient un éventail d'indicateurs pouvant structurer la demande énergétique. Nous avons pris position en proposant d'abord notre modèle conceptuel du système « forme urbaine/énergie » et en décidant

⁷⁸Le terme « occupant », utilisé par de nombreux auteurs, signifie la population résidente dans un périmètre spatial donné.

de choisir comme entrée « l'occupant », partie prenante de toutes les relations dans ce système. Ainsi, toutes les variations paramétriques des indicateurs des différents registres ne trouveront de sens que via l'occupant, dénominateur commun qui transformera cet ensemble hétérogène en une réponse, la consommation énergétique. Le registre de la réglementation n'est pas traité dans la présente thèse, car la réglementation est appliquée sur tout le territoire national et aucune approche n'est disponible pour estimer son effet, en amont et en aval de son application.

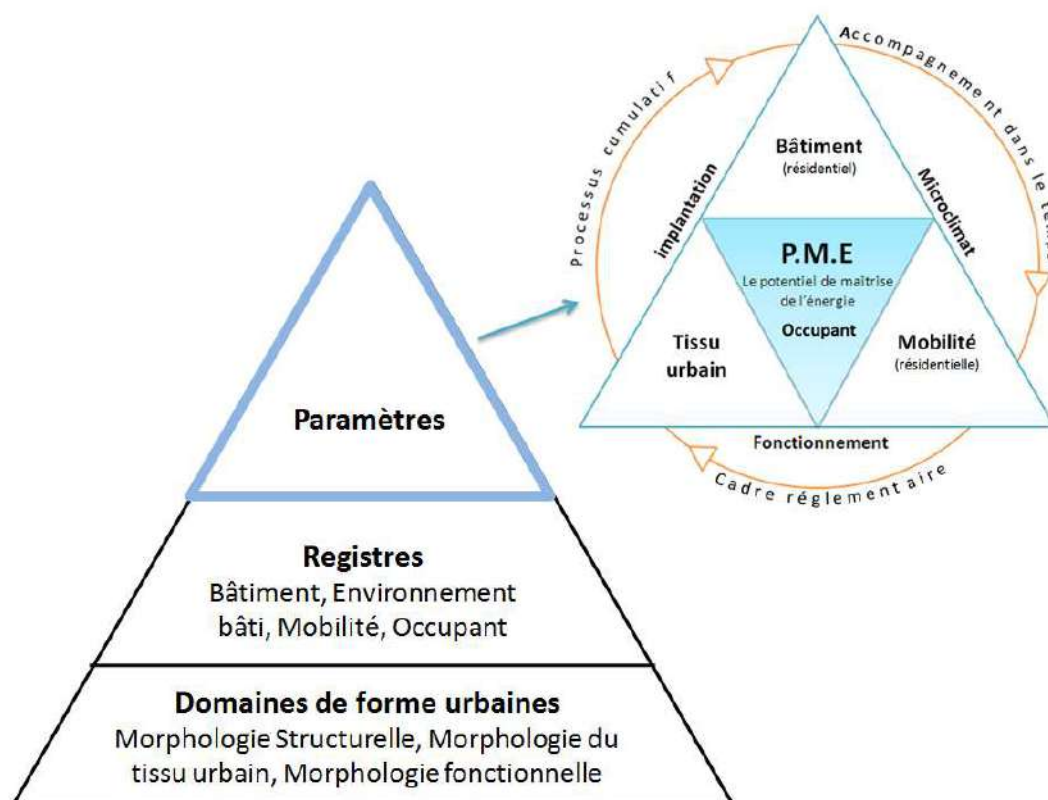


Fig 7- 1 : Pyramide des déterminants théorique du triptyque Forme urbaine/Occupant/Energie. Source : S.Boukarta

En se basant sur ce positionnement, nous avons identifié et exploré les déterminants du potentiel de maîtrise de l'énergie dans le quatrième chapitre, à travers la revue de la littérature scientifique selon les deux registres, celui du bâtiment et celui de mobilité, en ayant comme cadre de lecture l'environnement bâti et les données socio-économiques de l'occupant. **77 déterminants potentiels ont été identifiés pour la partie bâtiment et 69 pour le registre de la mobilité.** Nous avons ensuite appliqué une lecture de l'effet global de chaque déterminant, pour estimer s'il exerce un effet globalement positif, négatif, neutre ou insignifiant. Enfin, en synthèse de cette deuxième partie, nous avons procédé à une sélection des déterminants selon le contexte local du climat semi-aride et selon les exigences des indicateurs SMART, pour garder *in fine* **19 indicateurs pertinents pour la mobilité et 31 pour le registre du bâtiment.**

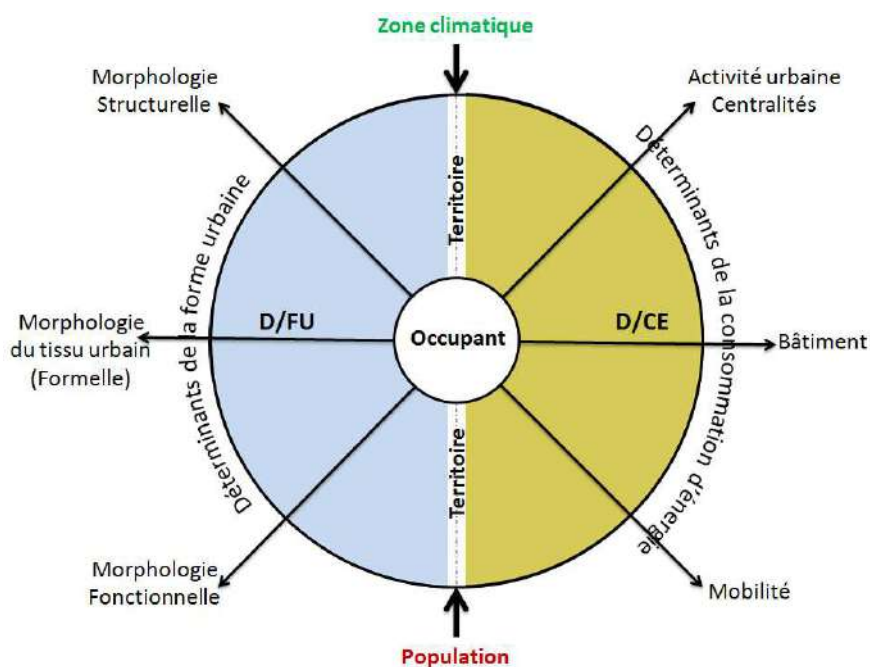


Fig 7- 2 : Synergie forme urbaine/énergie et ses déterminants. Source : S.Boukarta

A travers la deuxième partie de la thèse, et étant donné que les déterminants identifiés ont des impacts variés et parfois contrastés, nous avons confirmé notre hypothèse qui consiste à considérer que le glissement de la problématique de la maîtrise de l'énergie à l'espace, ou à différentes zones géographiques, requiert une approche non fractale et exige du fait une exploration et définition nouvelle des effets spécifiques à la zone géo-climatique en question.

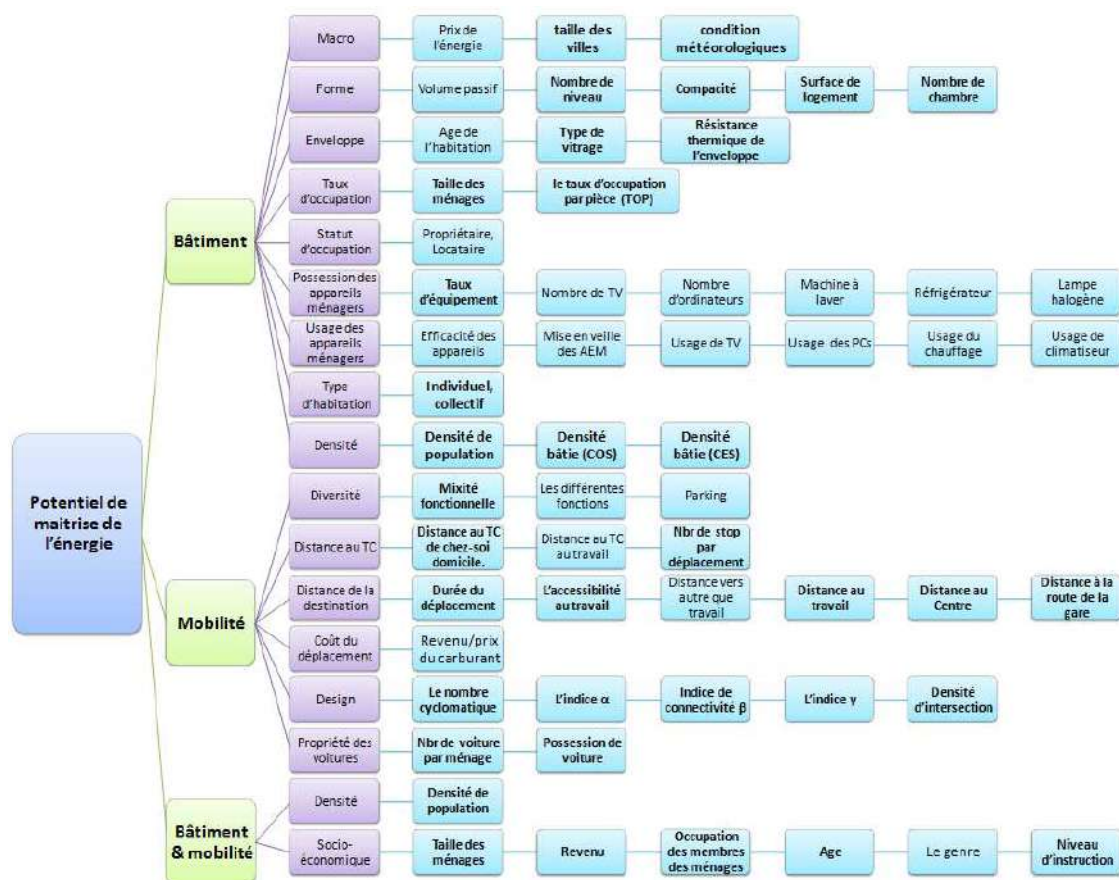


Fig 7- 3 : Batterie des variables explorées. En gras, les variables explicatives significatives. Source : S.Boukarta

La **troisième partie de la thèse** concerne enfin l'exploration de la signification des déterminants identifiés et adaptés à notre aire d'étude, la wilaya de Djelfa dans l'étage climatique semi-aride des Hauts-Plateaux algériens. Le choix de la ville de Djelfa, qui n'a connu une véritable urbanisation qu'à partir des années 1980, se trouve étayé par le SNAT, le Schéma national de l'aménagement du territoire, qui vise à densifier la zone des Hauts-Plateaux, en proposant notamment l'implantation des villes nouvelles, telle que la ville nouvelle de Boughzoul à proximité de Djelfa. Dans ce cadre, l'intérêt de notre choix est justifié par la volonté d'apporter, à travers nos résultats, un appui pour la conception des tissus urbains nouveaux, voir l'amélioration du fonctionnement des formes urbaines existantes selon l'optique de la maîtrise de l'énergie.

Pour ce faire, nous avons, dans un premier temps, exploré le potentiel de maîtrise de l'énergie à l'échelle des communes en y considérant la consommation d'énergie finale du gaz et de l'électricité. A travers cette échelle, nous avons exploré les déterminants potentiels identifiés dans la deuxième partie de la thèse à travers des analyses de sensibilité que nous avons organisées en trois étapes : une corrélation bi-variée, suivie d'une analyse en composante principale afin d'identifier les corrélations potentielles entre déterminants et une modélisation par équation structurelle (MES) destinée à estimer la portée significative des déterminants. Cette approche, au contraire des modélisations par régression linéaire qui s'intéressent à n'identifier que les effets directs, permet d'identifier avec des degrés de signification robustes les pistes de causalité entre les variables et estimer par la suite les effets directs et indirects des déterminants. Cette première approche nous a permis d'identifier **sept variables significatives structurant la demande énergétique à l'échelle des communes**. Certains déterminants, comme par exemple le revenu, n'ont pas été introduits à cette échelle car ils ne sont pas considérés dans le RGPH de 2008. Aussi, les caractéristiques des bâtiments (âge et type des bâtiments) introduits dans le modèle se sont révélées sans effets. Pour pouvoir apprécier le potentiel de maîtrise de l'énergie à partir des caractéristiques des bâtiments, nous avons effectué une campagne de 100 simulations tout en fixant le rôle de l'occupant. Les mêmes trois étapes de l'analyse de sensibilité décrites *supra* ont été suivies et nous avons obtenu des résultats portant sur l'effet de chaque paramètre et surtout l'effet structurant que joue la qualité de l'enveloppe du bâtiment. Une première comparaison entre les effets des déterminants liés aux bâtiments et ceux liés à l'occupant a révélé leurs proximité.

Dans le dernier chapitre, nous avons exploré, à travers une enquête-ménages conduite par questionnaire fermé sur un échantillon initial de 300 cas, le potentiel de maîtrise de l'énergie des déterminants liés à la mobilité. Les résultats de l'enquête ont aussi été corrélés avec le choix modal (voiture, à pied ou en TC). Quatre modélisations structurelles ont été effectuées pour expliquer la part modale de la voiture, des TC et de la marche à pied, ainsi que la consommation de l'énergie induite par la mobilité résidentielle domicile-travail. Les variables ont été discutées en termes de leur effet sur la part modale et sur la consommation de l'énergie. Les effets de l'occupant se sont révélés plus importants en termes d'effets sur la consommation de l'énergie, que ceux de l'environnement bâti, mais si l'on considère la différence qui existe entre le centre et les nouvelles extensions de la ville de Djelfa en termes de connectivité et en termes de densité fonctionnelle, on pourra alors déduire que cette prépondérance du rôle de l'occupant est induite par les caractéristiques de l'environnement bâti qui tendent à encourager les déplacements motorisés.

Ce résultat nous oblige alors à effectuer une deuxième comparaison de consommation d'énergie entre les 14 variables explicatives de l'environnement bâti et les 16 variables portant sur la mobilité. La première lecture nous indique que les économies d'énergie potentielles provenant du bâtiment sont plus importantes que celles de la mobilité. La deuxième lecture porte sur les registres d'analyse,

celui de l'occupant et celui de l'environnement bâti. Pour le bâtiment comme pour la mobilité, l'occupant a un impact important sur la consommation d'énergie. Il joue donc un rôle structurant dans le phénomène de la consommation énergétique de la même manière que pour le registre des déterminants liés à l'environnement bâti. Cette comparaison confirme alors notre deuxième hypothèse, qui confère à l'occupant un rôle structurant dans la consommation énergétique qu'il serait judicieux de considérer dans la planification urbaine. Nous avons proposé l'échelle de la commune comme celle permettant d'introduire la question énergétique. La commune est un ensemble administrativement délimité, qui présente une cohérence et homogénéité climatique et socio-économique qu'une échelle plus large, territoriale, risque d'omettre. Ainsi, notre proposition d'intégration de la dimension énergétique dans la planification urbaine pourra faire l'objet des discussions avec les acteurs concernés par la planification urbaine en Algérie. Cette question est à considérer dans les futures recherches.

Le tableau suivant présente la synthèse des résultats obtenus en ce qui concerne le rôle des déterminants de la forme urbaine capables de générer un potentiel de maîtrise de l'énergie en zone semi-aride.

Tableau 7- 1 : Gains et pertes du potentiel de maîtrise de l'énergie de la FU à Djelfa. Synthèse des résultats: S.Boukarta

Variation de la consommation énergétique par registre (Kwh/an.pers.unité)				
Registres	Variables	Unité	Bâtiment	mobilité
Bâtiment	Surface (+m ²)	+ 1 m ²	-35.44	
	RT mur ext (+1)	+1 m.k/W	-365.4	
	Uw	-1 W/m ² .k	-179.73	
	taux de vitrage (10%)	10 % de taux de	-160.30	
	Compacité (+0.2)	+0.2	-221.55	
	RT plancher (+1)	+1 m.k/W	-197.93	
	Nombre de niveau moyen (+1 niveau)	+ 1 niveau		16
	Type d'habitat (indiv/col)	individuel/collectif		5.67
Environnement bâti	Densité (100hab/km ²)	+ 100 hab/km ²	165.84	
	prospect (H/L)	+1	-26.78	
	Orientation	entre 0 (Nord/Sud) et 90° (Est-Ouest)	-166.60	
	Rotation bus (+1)	+1		79.4
	Distance au centre (+1 km)	+1 km		61.35
	Fréquence Bus (+1)	+1		-6.13
	Distance de la route de la gare (+1 km)	+1 km		-9.41
	Distance domicile-travail (+1 km)	+ 1km		52.64
	Densité bâtie (COS)	+1		-35.46
Occupant	Personne >60 ans	+1	306.4	
	TOP (+1)	+1	669.6	
	TOL (+1)	+1	-666.4	7.187
	Niveau d'instruction	+1 palier	259.2	-2.67
	Taux d'équipement	+10 %	26.4	
	Revenu (+ 15 000 Da)	+ 15 000		30
	Nombre de voiture (+1)	+ 1		116.87
	Age répondant (+10 ans)	+ 10 ans		-19.66
	Fréquence Aller-retour (+1)	+ 1		93.87
	Profession	(libéral/public)		55.726

Note explicative : Chaque augmentation d'une variable de l'ordre de 1 unité de mesure, induit une variation en + ou en – de la consommation de l'énergie par l'occupant. Il est par conséquent possible d'estimer le gain ou la perte de l'énergie consommée en modifiant les variables de la forme urbaine concernée dans un registre.

2. Opérationnalité des résultats :

Les résultats de la présente recherche pourront être utilisés pour développer des outils d'aide à la conception pour la le bâtiment et la mobilité à des échelles différentes. L'agrégation du potentiel d'économie d'énergie pourrait donner le potentiel de maîtrise de l'énergie par zone géographique exprimé par kwh/pers.an. Ce potentiel pourrait aussi être utilisé comme feuille de route pour évaluer les progrès de la politique énergétique à l'œuvre.

Comme exemple d'application à l'échelle du bâtiment, les résultats obtenus de la campagne de simulation réalisée et présentée dans le chapitre 5, pourraient contribuer à la mise en place d'un **outil d'aide à la conception** à l'échelle du bâtiment résidentiel, utilisable en phase esquisse. Cet outil permet d'ajuster la forme du bâtiment, son orientation, l'espacement entre bâtiment, la hauteur des bâtiments et la qualité de l'enveloppe du bâtiment.

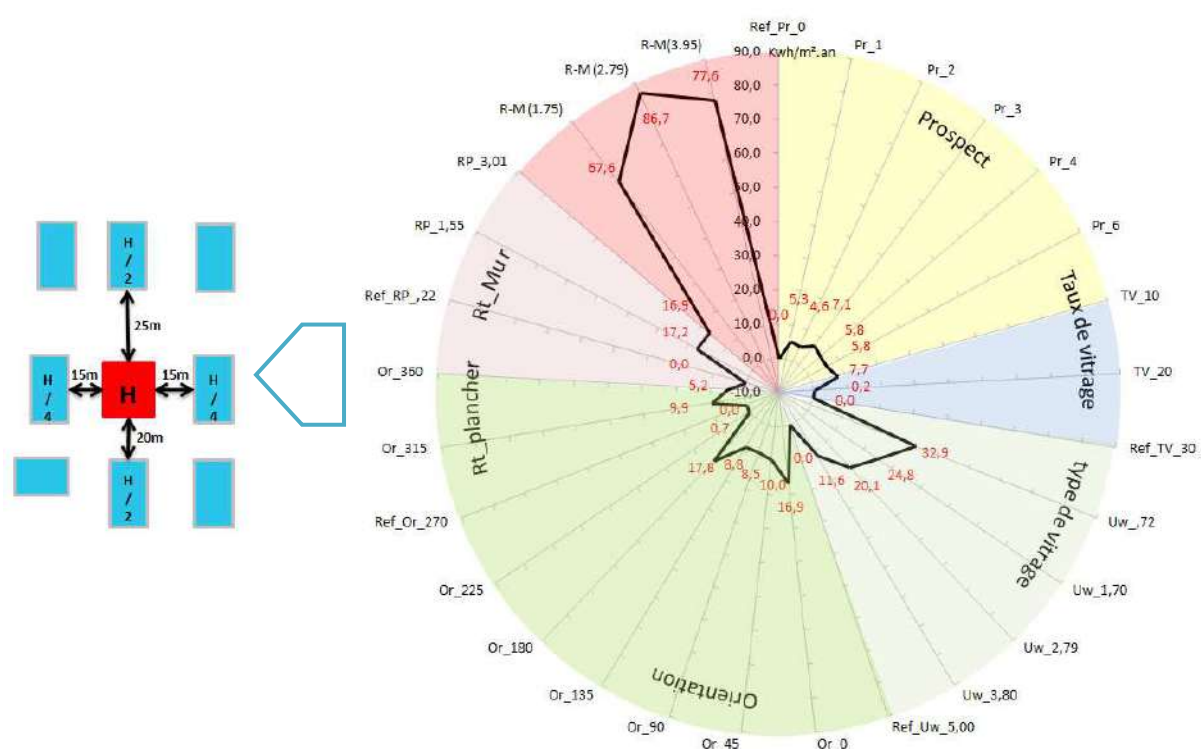


Fig 7- 4 : Exemple d'application des résultats de la recherche à l'échelle du bâtiment. Source : S.Boukarta

Pour une application des résultats à l'échelle urbaine, il serait judicieux que les acteurs compétents localement se réunissent après l'identification des déterminants de la consommation d'énergie pour sélectionner les indicateurs à mettre en œuvre selon la priorité du moment. Et comme exemple d'application, le choix pourrait porter sur 7 déterminants liés au bâtiment, à l'environnement bâti et à l'occupant, voir figure ci-dessous.

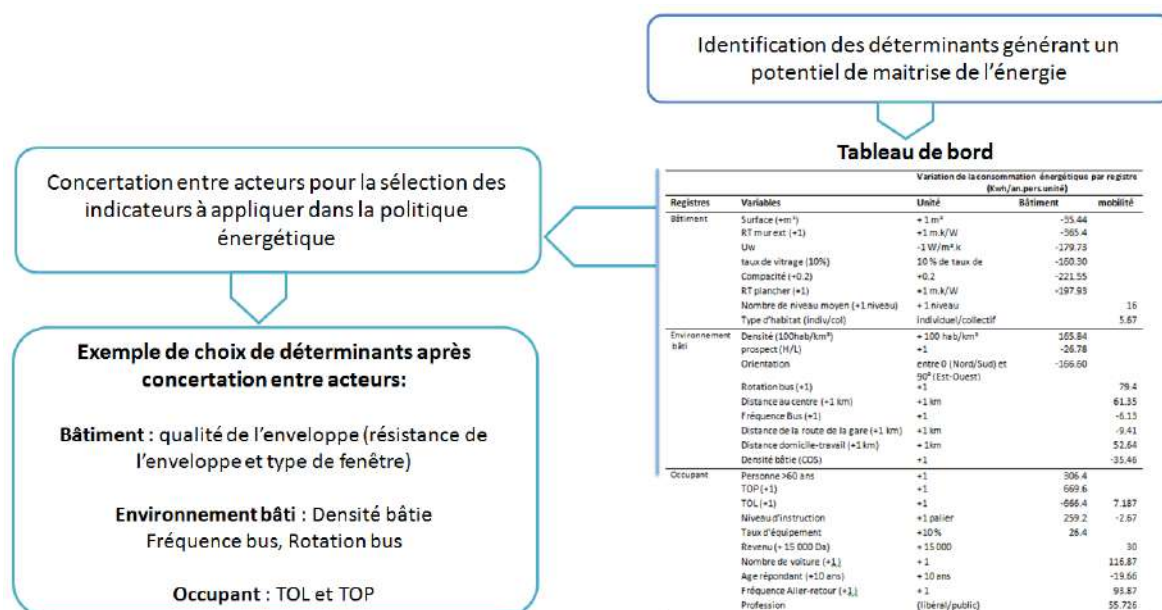
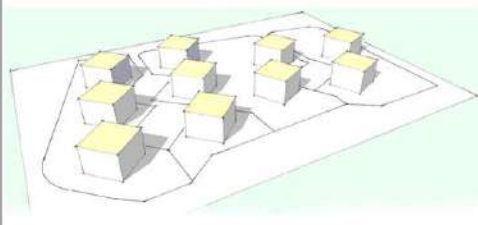
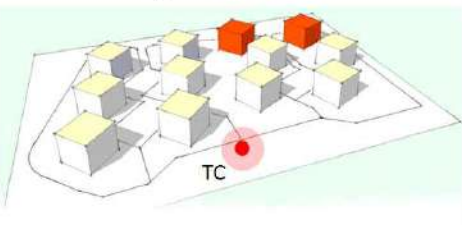


Fig 7- 5 : Processus d'application des déterminants à l'échelle urbaine. Source : S.Boukarta

Comme exemple d'application nous avons choisi le quartier 5 juillet. Les caractéristiques du quartier avant et après modification sont présentées dans le tableau suivant. En se basant sur le tableau de bord développé, et en variant les déterminants sélectionnés, tels que la densité bâtie et la qualité de l'enveloppe, nous avons obtenu un potentiel d'économie d'énergie de -507 pour le bâtiment et -97 kwh/pers.an pour la mobilité domicile-travail, soit un total de plus de -600 kwh/pers.an d'économie d'énergie. Voir tableau ci-dessous.

Tableau 7- 2 : Exemple d'application des résultats de la recherche à l'échelle urbaine. Source : S.Boukarta

Etat Initial		Caractéristiques		Après amélioration	
		26802	Surface de terrain (m²)	26802	
		4000	Emprise au sol (m²)	4800	
		3 km	Distance au centre	3km	
		200	Nombre de logements	240	
		20000	Surface bâtie (m²)	24000	
Economie d'énergie-bâtiment	valeur	Déterminant		valeur	Economie d'énergie-mobilité
	0.74	COS (densité bâtie)		0.9	-5.6
	5	Fréquence bus		7	-12.26
	2	Nbr de rotation bus		-1	-79.4
-409.248	0.63	Résistance thermiques Mur		1.75	
-503.244	5	Type des fenêtre Uw		2.2	
0	1.55	Résist thermiques plancher		1.55	
-207.57	2	TOP		1.69	
+613	6	TOL		5.08	
	1200	Nombre de population		1220	
-507.06		Total d'économie d'énergie (Kwh/an.pers)			-97.26
		Total d'économie d'énergie (Kwh/an.pers) bâtiment+mobilité			-604.32

3. Limites et contraintes de la recherche

Plusieurs contraintes ont accompagné le déroulement de notre recherche. Elles ont été citées dans le corps de la thèse, nous en ferons là simplement un récapitulatif. Tout au début, le choix du cas d'étude portant sur une seule ville, Djelfa, de la grande zone des Hauts Plateaux peut être considéré comme première limite. En effet, une approche comparative aurait pu être plus riche en enseignement mais nous considérons le cas choisi comme satisfaisant, car il nous a servi comme terrain de réflexion et nous a aussi permis de valider les hypothèses qui sous-tendent notre thèse. Aussi, et par moment d'analyse, nous sommes arrivés à des résultats qui requièrent plus d'explications. Par exemple, le cas de l'effet trouvé comme positif de la surface des habitations et la taille des ménages sur la demande énergétique des bâtiments. Nous sommes restés au stade des explications, certes logiques, mais hypothétiques car nécessitant d'autres investigations et données pour les vérifier. Dans la même lignée, l'absence de certaines variables, tel que le revenu, se pose aussi comme une limite et nous avons été contraint d'utiliser des variables *proxy* pour apprécier l'impact des variables absentes dans l'analyse.

Il est aussi à noter que les contraintes que nous avons rencontrées sur terrain au moment du déroulement de l'enquête se sont posées comme des limites en deux temps, une inertie de réponse à certaines questions, comme celle de revenu, pour laquelle les habitants sont sensibles. Nous avons dû revoir le questionnaire et l'améliorer pour qu'il y ait le maximum de retour, et malgré nos efforts et nos précautions, nous avons eu certaines questions sans réponse ce qui peut réduire la puissance des modèles développés.

Dans la présente thèse, et pour le cas de la mobilité, nous n'avons considéré que la mobilité domicile-travail, d'autres déplacements peuvent aussi être considérés tels que le déplacement pour les loisirs et le shopping. Nous ne les avons pas considérés dans notre recherche car ne répondant pas aux mêmes conditions et contraintes qui caractérisent le déplacement domicile-travail, qui est un déplacement stable quotidiennement et se répétant dans le temps, contrairement aux autres modes de déplacements qui requièrent des méthodes d'analyse plus appropriées que celle choisie pour le déplacement domicile-travail.

La collecte des données s'est faite en se basant sur le *self-reporting* des répondants, ce qui peut générer des erreurs dans l'appréciation des distances domicile-travail. Des améliorations techniques et méthodologiques, de type signal téléphonique ou signal GPS, pourront améliorer la fiabilité des données et le potentiel explicatif des modèles développés. L'utilisation de ce type de méthodes nécessite davantage de moyens et d'autorisations ce qui les rend difficiles à mettre en œuvre.

4. Pistes de recherche future

A travers notre thèse nous avons pu explorer les déterminants structurant la demande énergétique dans la zone semi-aride de Djelfa. Une batterie de 30 indicateurs finaux a été identifiée, 14 liés au bâtiment et le tissu urbain, 16 liés à la mobilité. Notre recherche peut s'étendre pour constituer une base pour l'élaboration d'un **cadastre énergétique communal** associé à une grille d'indicateurs expliquant les variations énergétiques observées.

Autre piste pourrait concerner le développement d'une certification énergétique des aménagements urbains. Si, dans le monde, il existe plusieurs certifications énergétiques des bâtiments, élaborées selon les pays, les secteurs d'activité, les types des bâtiments, les zones climatiques sensibles, etc., la **certification énergétique d'aménagement urbain**, à intégrer dans un permis d'aménagement,

pourrait contribuer de manière significative à la réduction de la consommation des énergies fossiles et à la transition vers un mix énergétique. En Algérie, un tel outil serait d'un grand apport, vu sa capacité d'adaptation aux différents contextes climatiques de notre pays.

Enfin, la connaissance des effets des déterminants de forme urbaine sur la demande énergétique permet de réduire les consommations et les gaz à effet de serre qui en découlent. Aussi, les analyses de sensibilité développées dans la présente thèse nous ont permis d'obtenir des seuillages par déterminant, ce qui nous permettra par la suite de procéder à une scénarisation prospective du potentiel de maîtrise de l'énergie dans la zone semi-aride en comparant les répercussion de la politique de développement tendancielle (actuelle) avec d'autres scénarii proactifs, conçus par variation paramétrique des déterminants identifiés.

Nous espérons que des chemins nouveaux de recherche pourraient aider, en Algérie, à la mise en place d'une maîtrise d'œuvre urbaine spécialisée, mieux encadrée et mieux inspirée en termes de conceptions écono-économes, mais aussi à une maîtrise d'ouvrage pleinement impliquée dans la mise en œuvre de la politique nationale de maîtrise de l'énergie à l'échelle locale.

- Abada, B., 2006, bulletin n° 09, Le Protocole de Kyoto est une solution pour qui ?, édi CDER, pp 20-23
- Abouri, R., & SIAGH, H. (2016). *Production de l'essence sans plomb par amélioration du procédé de reforming catalytique*.
- Alam, M., Sathaye, J., & Barnes, D. (1998). Urban household energy use in India: efficiency and policy implications. *Energy policy*, 26(11), 885-891.
- Alavifar, A., Karimimalayer, M., & Anuar, M. K. (2012). Structural equation modeling vs multiple regression. *Engineering Science and Technology: An International Journal*, 2(2), 326-329.
- Ali-Toudert, F. (2000). Intégration de la dimension climatique en urbanisme. *Mémoire de Magister, EPAU, Alger*.
- Ali-Toudert, F., & Weidhaus, J. (2017). Numerical assessment and optimization of a low-energy residential building for Mediterranean and Saharan climates using a pilot project in Algeria. *Renewable Energy*, 101, 327-346.
- Amirat, M., & El Hassar, S. M. K. (2005). Economies d'Energie dans le Secteur de l'Habitat Consommation Electrique des Ménages-Cas d'un foyer algérien typique en période d'hiver. *Revue des énergies renouvelables*, 8, 27-37.
- Amri, F. (2017). The relationship amongst energy consumption (renewable and non-renewable), and GDP in Algeria. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 62-71.
- APRUE, L'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (2017), La situation énergétique nationale, chiffre 2015, édition 2017.
- APRUE, L'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (2015), La situation énergétique nationale, chiffre 2013, édition 2015.
- APRUE, L'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (2008), le petit guide de la famille economie.
- APRUE, L'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (2007), Consommation finale, chiffre clé de l'année 2005.
- APRUE, L'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (2014), Consommation finale, chiffre clé de l'année 2012.
- Arab, A. H., Cherfa, F., Chouder, A., & Chenlo, F. (2005, June). Grid-connected photovoltaic system at CDER-algeria. In 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition(pp. 6-10).
- Assimakopoulos, V. D., Georgakis, C., & Santamouris, M. (2006). Experimental validation of a computational fluid dynamics code to predict the wind speed in street canyons for passive cooling purposes. *Solar Energy*, 80(4), 423-434.
- Atik, T, Mehaoued et Boussoualim (2014). *Effets des toitures vertes sur le microclimat urbain à Alger* , in Conférence IBPSA France-Arras.
- Bachar, K. (2015). L'intégration des dimensions environnementales et sociales dans les pratiques urbaines en Algérie: enjeux et perspectives (Doctoral dissertation, Le Mans).
- BACKER, N., & Steemers, K. (2000). *Energy and Environment in Architecture. A Technical Design Guide*, E& FN SPON, London.
- Baker, K. J., & Rylatt, R. M. (2008). Improving the prediction of UK domestic energy-demand using annual consumption-data. *Applied Energy*, 85(6), 475-482.
- Bakour M, 2016, la mobilité urbaine et la planification des réseaux de transport dans une logique de renouvellement urbain, le cas d'Alger, Thèse de Doctorat, EPAU.
- Ballout Amor , (2016), *Urban quality through Thermal Comfort Conditions in an Urban Space. "The Square of Independence, Sétif, Algeria"*,

- Banister, D., Newson, C., & Ledbury, M. (2007). The Costs of Transport on the Environment—the role of teleworking in reducing carbon emissions. *Transport Studies Unit, Oxford University*. Available at: <http://www.Tsu.Ox.Ac.Uk/pubs/1024-banister-etal.Pdf>.
- Banister, D., Watson, S. And Wood C. (1997), Sustainable Cities, Transport, Energy and Urban Form, Environment and Planning B: Planning and Design, Vol. 24, pp. 125-143.
- Baouni, T., Bakour, M., & Berchache, R. (2013). Effets de la multi-modalité à Alger sur la mobilité des usagers. *Insaniyat/إنسانيات: Revue algérienne d'anthropologie et de sciences sociales*, (62), 45-69.
- Barde, C. (1891). *Salubrité des habitations et hygiène des villes*.
- Bartiaux, F., & Gram-Hanssen, K. (2005, June). Socio-political factors influencing household electricity consumption: A comparison between In *ECEEE Summer Study Proceedings* (Vol. 3, pp. 1313-25).Denmark and Belgium.
- Bedir, M., Hasselaar, E., & Itard, L. (2013). Determinants of electricity consumption in Dutch dwellings. *Energy and buildings*, 58, 194-207.
- Beguin J-M, Boulanger P-M, Lussis B, « *l'apport des sciences sociales à l'utilisation rationnelle de l'énergie par les ménages* » in *conclusions et perspectives du séminaire énergie* ». 13 aout 2003
- Belahya, H, Boubekri, A. and Kriker , A (2017), *A Fast Evaluation Method for Energy Building Consumption Based on the Design of Experiments*, In IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 83 (2017)
- Belakehal, A., Bennadji, A., & Tabet Aoul, K. A. (2009). Towards an occupant based conceptual model: case of the natural luminous ambience. In *PLEA 2009-26th Conference on Passive and Low Energy Architecture*. Les Presses de l'Université Laval..
- Belkacem, N., Loukarfi, L., Khelil, A., Naji, H., Braikia, M., & Missoum, M. (2015). Simulation des charges thermiques dans une habitation pilote à plancher réversible. *Nature & Technology*, (13), 17.
- Belkacem, N., Loukarfi, L., Missoum, M., Naji, H., Khelil, A., & Braikia, M. (2017). *Assessment of energy and environmental performances of a bioclimatic dwelling in Algeria's North*. Building Services Engineering Research and Technology, 38(1), 64-88.
- Benamirouche, H., & Nacer, A. B. (2014). Tendances d'évolution des exportations gazières de l'algerie vers l'europe exercice prospectif a l'horizon 2030. *Les cahiers du cread*, 110(1), 5-34.
- Benamrane, K., Benslimane, T., Abdelkhalek, O., Abdelkrim, T., & Borni, A. (2017). Performance Evaluation and Comparison of Two Cascaded Configurations of PV Generators-Five Levels Inverter for a Stand-Alone Application in South Algeria. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, 8(2).
- Bencheikh, Ameer. (2012). *The effects of green spaces (Palme trees) on the microclimate in arides zones, case study: Ghardaia*, Algeria. *Energy Procedia*, 18, 10-20.
- Benevolo, L. (1994). *Histoire de la ville*, (1975), Ed Parenthèses.
- Benhammou, M., & Draoui, B. (2012). Simulation et caractérisation d'un échangeur géothermique à air destiné au rafraîchissement des bâtiments fonctionnant dans les conditions climatiques du sud de l'Algérie. *Revue des Energies Renouvelables*, 15(2), 275-284.
- Benhouhou, (2016), Conception d'un groupement d'habitation individuelle durable dans la ville de Djelfa MEMOIRE DE master μμ
- Benslimane, M., Hamimed, A., Zerey, W. E., Khaldi, A., & Mederbal, K. (2009). Analyse et suivi du phénomène de la désertification en Algérie du nord. *Vertigo-la revue électronique en sciences de l'environnement*, 8(3).
- Blázquez, L., Boogen, N., & Filippini, M. (2013). Residential electricity demand in Spain: new empirical evidence using aggregate data. *Energy economics*, 36, 648-657.
- Boarnet, M. G., & Crane, R. (1998). Public finance and transit-oriented planning: New evidence from southern California. *Journal of Planning Education and Research*, 17(3), 206-219.
- Bob Dudley, (2015), BP Statistical Review of World Energy,
- Bochet, B. (2007). Débat ville étalée-ville compacte: la réponse des projets lausannois. *Revue économique et sociale*, 65(4), 95.
- Bouamama, W. (2013), au sujet de la politique d'efficacité énergétique en algérie : approche systémique pour un développement durable cas de : programme eco-bat. Mémoire de magister, tlemcen, belkaied.

- Bouattou, Asma (2016), *Stratégies de rafraîchissement urbain à Alger, Pour l'adaptation climatique des communes thermiquement défavorables*.
- Bouchahm, Y., Bourbia, F., & Belhamri, A. (2011). Performance analysis and improvement of the use of wind tower in hot dry climate. *Renewable Energy*, 36(3), 898-906.
- Boudries, R. (2017). Techno-economic study of hydrogen production using CSP technology. *International Journal of Hydrogen Energy*.
- Boukarta, S. (2008), identification du potentiel énergétique des formes urbaines, mémoire de magister, université d'Oran.
- Boukarta, S. (2011). Un développement urbain durable politisé ou une politique de développement urbain durable?. Processus d'appropriation du développement urbain durable en Algérie: discours, politiques et pratiques locales des acteurs urbains. *Cybergeog: European Journal of Geography*.
- Boukarta, S., & Berezowska-Azzag, E. (2017-a), Exploring the Energy Implication of Urban Density in Residential Buildings. *Journal of Applied Engineering Sciences*, 7(1), 7-14.
- Boukarta, S., & Berezowska-Azzag, E. (2017-b), "Urban island" as an energy assessment tool. The case of Mouzaia, Algeria, , doi:10.5937/jaes15-12951. *Journal of applied engineering science* 15 (2), 128 – 139. ISSN 1451-4117 (printed), E-ISSN 1821-3197.
- Boukarta, S., & MOKHTARI, A. (2017). Analyse multicritère pour une caractérisation énergétique des formes Urbaines. *Courrier du Savoir*, [S.l.], v. 24, ISSN 1112-3338.
- Boukarta, S., & Berezowska-Azzag, E. (2018). Energy demand of occupant's spatial modification in residential buildings. Case study of Médéa, Algeria. *Selected Scientific Papers-Journal of Civil Engineering*, 13(s1), 15-28.
- Boukarta, S. & Berezowska-Azzag, (2018), Assessing household gas and electricity consumption, case study of Djelfa, *Quaestiones Geographicae*, vol 37, issue 4. <https://doi.org/10.2478/quageo-2018-0034>
- Bouketta, S., & Bouchahm, Y. (2012). L'effet de la géométrie urbaine sur l'écoulement du vent et la ventilation naturelle extérieure. *Revue des Energies Renouvelables*, 15(4), 639-659
- Boukhabla, M., Alkama, D., & Bouchair, A. (2013). *The effect of urban morphology on urban heat island in the city of Biskra in Algeria*. *International Journal of Ambient Energy*, 34(2), 100-110.
- Boukhadimi, S. (2014), Efficacité énergétique dans le secteur résidentiel, enjeux et perspectives, *El-Bahith* (6) n° 11, 41-62.
- Boukheddimi, S. 2014, *Efficacité énergétique dans le secteur résidentiel, enjeux et perspectives*, *El-Bahith* (6) n° 11, 41-62.
- Boukheikhal, I., & Bourbia, P. F. (2016). *Thermal Comfort Conditions in Outdoor Urban Spaces: Hot Dry Climate-Ghardaia-Algeria*. *Procedia Engineering*, 169, 207-215.
- Boulaire, F., Higgins, A., Foliente, G., & mcnamara, C. (2014). Statistical modelling of district-level residential electricity use in NSW, Australia. *Sustainability science*, 9(1), 77-88.
- Bourbia, F., & Awbi, H. B. (2004). *Building cluster and shading in urban canyon for hot dry climate: Part 1: Air and surface temperature measurements*. *Renewable energy*, 29(2), 249-262.
- Bourbia, F., Boucheriba, F., & Tebbani, H. (2005). Street design and outdoor comfort for semi arid climate. PLEA.
- Boutaud Aurélien, *Penser le changement ou changer le pansement*, thèse de doctorat, 2005, université de la Rochelle.
- Bouyer, J. (2009). Modélisation et simulation des microclimats urbains - Etude de l'impact de l'aménagement urbain sur les consommations énergétiques des bâtiments. PHD thesis, université de Nantes
- Bozonnet, E. (2005). *Impact des microclimats urbains sur la demande énergétique des bâtiments-Cas de la rue canyon* (Doctoral dissertation, Université de la Rochelle).
- Breheny, M. (1995). The compact city and transport energy consumption. *Transactions of the institute of British Geographers*, 81-101.
- Brounen, D., Kok, N., & Quigley, J. M. (2012). Residential energy use and conservation: Economics and demographics. *European Economic Review*, 56(5), 931-945.

- Brownstone, D., & Golob, T. F. (2008). The impact of residential density on vehicle usage and energy consumption. *Journal of urban Economics*, 65(1), 91-98.
- Calabrese, F., Diao, M., Di Lorenzo, G., Ferreira Jr, J., & Ratti, C. (2012). Understanding individual mobility patterns from urban sensing data: A mobile phone trace example. *Transportation research part C: emerging technologies*, 26, 301-313.
- Carole-Anne Sénit (Sciences Po, Iddri) 2007, l'efficacité énergétique dans le secteur résidentiel: une analyse des politiques des pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée..
- Caron Damien, (2012), influence de la typo-morphologie de la ville sur le phénomène d'îlot de chaleur urbain. Mémoire de master recherche. ENSAM.
- Carpentieri, M., Robins, A. G., & Baldi, S. (2009). Three-dimensional mapping of air flow at an urban canyon intersection. *Boundary-layer meteorology*, 133(2), 277-296.
- Carter, A., Craigwell, R., & Moore, W. (2011). Price reform and household demand for electricity. *Journal of Policy Modeling*, 34(2), 242-252.
- Castex, J., & Panerai, P. (1979). Structure de l'espace architectural. Collective, Sémiotique de l'espace architecture urbanisme sortir de l'impasse, éditions Denoël/Gonthier, Paris, 60-93.
- Cavailhes J., D. Joly, T. Brossard, H. Cardot, M. Hilal, P. Wavresky, La consommation d'énergie des ménages en France, Convention MEEDM - INRA no. 22 0009 3249, 2011.
- Cervero, R. (1989). Land-use mixing and suburban mobility. *Transportation Quarterly Vol. 42, No. 3*. Pp. 429-44.
- Cervero, R., & Murakami, J. (2010). Effects of built environments on vehicle miles traveled: evidence from 370 US urbanized areas. *Environment and planning A*, 42(2), 400-418.
- Cervero, R., & Radisch, C. (1995). Travel choices in pedestrian versus automobile oriented neighborhoods. *Transport policy*, 3(3), 127-141.
- Cervero, R.; Kockelman, K. (1997), Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design. *Transport. Res. D-Tr. E.*, 2, 199–219.
- CES-MED : <http://www.ces-med.eu/fr>
- Chabane, F., Moummi, N., & Benramache, S. (2013). Experimental analysis on thermal performance of a solar air collector with longitudinal fins in a region of Biskra, Algeria. *Journal of Power Technologies*, 93(1), 52-58.
- Chadel, A., Chadel, M., Aillerie, M., & Benyoucef, B. (2017). Technical and economic analysis of hybrid solar/wind energy source for the site of Tlemcen-Algeria. *Energy Procedia*, 119, 29-37.
- Chen, C., Gong, H., & Paaswell, R. (2007). Role of the built environment on mode choice decisions: additional evidence on the impact of density. *Transportation*, 35(3), 285-299.
- Chen, J., Wang, X., & Steemers, K. (2013). A statistical analysis of a residential energy consumption survey study in Hangzhou, China. *Energy and Buildings*, 66, 193-202.
- Chen, J., Wang, X., & Steemers, K. (2013). A statistical analysis of a residential energy consumption survey study in Hangzhou, China. *Energy and Buildings*, 66, 193-202.
- Chenak, A, Efficacité énergétique dans le bâtiment Projet pilote Med-Enec, lettre APRUE N°14 / Avril 2009
- Cheng, V., Steemers, K., Montavon, M., & Compagnon, R. (2006). Urban form, density and solar potential. In *PLEA 2006*(No. LESO-PB-CONF-2006-008).
- Cherfi, S. (2011). L'avenir énergétique de l'Algérie: quelles seront les perspectives de consommation, de production et d'exportation du pétrole et du gaz à l'horizon 2020-2030.
- Cherqui, F. (2005). *Méthodologie d'évaluation d'un projet d'aménagement durable d'un quartier-méthode ADEQUA* (Doctoral dissertation, Université de la Rochelle).
- Chikhi, M., Agoudjil, B., Boudenne, A., & Gherabli, A. (2013). Experimental investigation of new biocomposite with low cost for thermal insulation. *Energy and Buildings*, 66, 267-273.
- Chitour, 2013, L'Algérie n'a pas aujourd'hui de véritable stratégie Énergétique, *Liberté*, 21 décembre 2011.
- Choay, F (1965). L'urbanisme, utopies et réalités, une anthologie. Ed. Du Seuil, Paris.
- Choay, F., & Merlin, P. (Eds.). (2015). *Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement*..

- Christensen, J. H., Hewitson, B., Busuioc, A., Chen, A., Gao, X., Held, R., ... & Magaña Rueda, V. (2007). Regional climate projections. In *Climate Change, 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, University Press, Cambridge, Chapter 11 (pp. 847-940).
- Christopher, A. (1965). A city is not a tree. In *Architectural forum* (Vol. 122, No. 1, pp. 58-62).
- Claval, P., & CLAVAL, F. C. (1981). *La logique des villes*. LITEC (Librairies Techniques). Rapporté par Choay et merlin 2015
- CNRTL Centre national de ressources textuelles et lexicales, , consulté le 18/12/17 : <http://www.cnrtl.fr>
- Compacité (V/S) : Appelée aussi volume surfacique (m), et ce rapport exprime la partie du bâtiment qui est ventilée et éclairée naturellement (S.Salat : 2011).
- Costello, A. B., & Osborne, J. W. (2005). Best practices in exploratory factor analysis: Four recommendations for getting the most from your analysis. *Practical assessment, research & evaluation*, 10(7), 1-9.
- Coupe, R., Roubaud, P., Boulekbache, H., & Devillers, C. (1974). Evolution de la " dissociativité " des blastomeres de l'embryon de Truite (*Salmo irideus* Gibb.) Au cours des premiers stades du developpement. *CR Acad. Sci. Paris* 279, 1549-1552.
- Cyrille Genre-Grandpierre, (2013) ; « La géométrie fractale : un outil de description des réseaux, des flux et de l'accessibilité », Revue Géographique de l'Est [En ligne], vol. 39 / 4 , consulté le 15 février 2014. URL : <http://journals.openedition.org/rge/4285>
- Dall'o', G., Galante, A., & Torri, M. (2012). A methodology for the energy performance classification of residential building stock on an urban scale. *Energy and Buildings*, 48, 211-219
- Dargay, J. (2004). The effect of prices and income on car travel in the UK. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 41(10), 949-960.
- Dargay, J. (2007). The effect of prices and income on car travel in the UK. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 41(10), 949-960.
- De Almeida, A., Fonseca, P., Schlomann, B., & Feilberg, N. (2011). Characterization of the household electricity consumption in the EU, potential energy savings and specific policy recommendations. *Energy and Buildings*, 43(8), 1884-1894.
- De Almeida, A., Fonseca, P., Schlomann, B., & Feilberg, N. (2011). Characterization of the household electricity consumption in the EU, potential energy savings and specific policy recommendations. *Energy and Buildings*, 43(8), 1884-1894.
- De Bourmont, M. (2012, May). La résolution d'un problème de multicolinéarité au sein des études portant sur les déterminants d'une publication volontaire d'informations: proposition d'un algorithme de décision simplifié basé sur les indicateurs de Belsley, Kuh et Welsch (1980). In *Comptabilités et innovation* (pp. Cd-rom).
- Décret exécutif 14-27 fixant les prescriptions urbanistiques, architecturales et techniques applicables aux constructions dans les wilayas du Sud. Journal officiel n 06.
- Décret exécutif 85-235 du 25 août 1985, modifié et complété, portant création d'une agence pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie ;
- Décret exécutif 91-175 : Instrument d'urbanisme (POS) , fixant les règles générales d'urbanisme.
- Derradji, L., Imessad, K., Amara, M., & Errebaï, F. B. (2017). A study on residential energy requirement and the effect of the glazing on the optimum insulation thickness. *Applied Thermal Engineering*, 112, 975-985.
- Dieleman, F. M., Dijst, M., & Burghouwt, G. (2002). Urban form and travel behaviour: micro-level household attributes and residential context. *Urban studies*, 39(3), 507-527.
- Ding, C., Wang, D., Liu, C., Zhang, Y., & Yang, J. (2017). Exploring the influence of built environment on travel mode choice considering the mediating effects of car ownership and travel distance. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 100, 65-80.
- Directive 2006/32/Ce :Parlement Européen Et Du Conseil, (2006), Directive 2006/32/Ce relative à l'efficacité énergétique dans les utilisations finales et aux services énergétiques et abrogeant la directive 93/76/CEE du Conseil, France.

- Dobre, A., Arnold, S. J., Smalley, R. J., Boddy, J. W. D., Barlow, J. F., Tomlin, A. S., & Belcher, S. E. (2005). Flow field measurements in the proximity of an urban intersection in London, UK. *Atmospheric Environment*, 39(26), 4647-4657
- Domenach, H. (2007). Démographie et environnement: vers une régulation planétaire. La Jaune et la Rouge, École Polytechnique, (627), 16-22
- Douak, M., & Settou, N. (2015). Estimation of hydrogen production using wind energy in Algeria. *Energy Procedia*, 74, 981-990.
- Druckman, A., & Jackson, T. (2008). Household energy consumption in the UK: A highly geographically and socio-economically disaggregated model. *Energy Policy*, 36(8), 3177-3192.
- DTR, Document technique réglementaire, C3-2 et C3-4, Ministère de l'habitat (1997), Réglementation thermique des bâtiments d'habitation.
- Dujardin, S., Labeeuw, F., Melin, E., Pirart, F., & Teller, J. (2009). Structuration du territoire pour répondre aux objectifs de réduction des émissions des gaz à effets de serre. *La dimension territoriale des politiques énergétiques et de réduction des GES*, 43-57.
- Durand, D., & Nuñez, E. (2002). Pour Une Pédagogie Opérationnelle de l'approche Systémique. *Ressystemica, Association française des sciences des systèmes, Paris, Franc.*
- Eirik Rescha, Rolf André Bohnea, Trond Kvamsdalb, Jardar Lohnea (2016), Impact of urban density and building height on energy use in cities, in SBE16 Energy Procedia 96 (2016), pp. 800–814
- Eirik Rescha, Rolf André Bohnea, Trond Kvamsdalb, Jardar Lohnea (2016), Impact of urban density and building height on energy use in cities, in SBE16 Energy Procedia 96 (2016), pp. 800–814.
- El Andaloussi, E , R. M., Mourtada, A., Pouffary, S., & Rozo, A. (2011). Energie, changement climatique et bâtiment en Méditerranée: perspectives régionales. Edition Plan Bleu, 95p.
- Eliasson, I. & Svensson, M. K. (2003) Spatial air temperature variations and urban land use: a statistical approach. *Meteorol. Appl.* 10: 135–149
- Ellegård, K., Widén, J., & Vrotsou, K. (2011, November). Appliances Facilitating Everyday Life-Electricity Use Derived from Daily Activities. In *World Renewable Energy Congress-Sweden; 8-13 May; 2011; Linköping; Sweden* (No. 57, pp. 1031-1038). Linköping University Electronic Press.
- Emery, A. F., & Kippenhan, C. J. (2006). A long term study of residential home heating consumption and the effect of occupant behavior on homes in the Pacific Northwest constructed according to improved thermal standards. *Energy*, 31(5), 677-693.
- Evans, J. M. (2007). The comfort triangles: a new tool for bioclimatic design (Doctoral dissertation, TU Delft, Delft University of Technology).
- Ewing, R. (1997). Is Los Angeles-style sprawl desirable?. *Journal of the American planning association*, 63(1), 107-126.
- Ewing, R., & Cervero, R. (2002). Travel and the built environment: a synthesis. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1780), 87-114.
- F.Boudon et A.Chastel (1977 : Rapporté par Choay et merlin 2015
- Fanger (1972 : rapporté par Chen et al : 2013)
- Fekraoui, A., & Abouriche, A. (1999). Ressources Géothermiques du Nord de l'Algérie-Eléments de l'Atlas Géothermique. *Revue des Energies Renouvelables*, 159-162
- Fekraoui, A., Kedaïd, F. Z., Rezig, M., & Abouriche, M. (2000). *Atlas des ressources géothermiques du nord de l'Algérie*. Internal report, Centre de Développement des Energies Renouvelables, Algiers, Algeria.
- Feng, J., Dijst, M., Prillwitz, J., & Wissink, B. (2013). Travel time and distance in international perspective: A comparison between Nanjing (China) and the Randstad (The Netherlands). *Urban Studies*, 50(14), 2993-3010.
- Fezzioui, N., Mébirika, B., Belkacem, D., & Claude-Alain, R. (2016). *The traditional house with horizontal opening: a trend towards zero-energy house in the hot, dry climates*. *Energy Procedia*, 96, 934-944.
- Field, A. (2009). *Discovering statistics using SPSS*. Sage publications
- Filippini, M., & Pachauri, S. (2004). Elasticities of electricity demand in urban Indian households. *Energy policy*, 32(3), 429-436.

- François De Villaret, (1995), *Siècles de steppe, Jalons pour l'histoire de Djelfa*, Centre de Documentation Saharienne, Ghardaia (Algérie).
- Gandemer, J. (1976). *Intégration du phénomène vent dans la conception du milieu bâti: guide méthodologique et conseils pratiques*. Secrétariat Général du Groupe Central des Villes Nouvelles
- Genjo K, Tanabe S, Matsumoto S, Hasegawa K, Yoshino H. (2005), Relationship between possession of electric appliances and electricity for lighting and others in Japanese households. *Energy Build*; 37(3): 259–72.
- Georgakis, C., & Santamouris, M. (2006). Experimental investigation of air flow and temperature distribution in deep urban canyons for natural ventilation purposes. *Energy and buildings*, 38(4), 367-376.
- Gervais-Lambony, P., Moriconi-Ebrard, F., Navez-Bouchanine, F., & Dorier-Apprill, E. (2001). *Vocabulaire de la ville: notions et références*. Editions du Temps.
- Ghasemi, A., & Zahediasl, S. (2012). Normality tests for statistical analysis: a guide for non-statisticians. *International journal of endocrinology and metabolism*, 10(2), 486.
- Ghedamsi, R., Settou, N., Gouareh, A., Khamouli, A., Saifi, N., Recioui, B., & Dokkar, B. (2016). Modeling and forecasting energy consumption for residential buildings in Algeria using bottom-up approach. *Energy and Buildings*, 121, 309-317
- Ghedamsi, R., Settou, N., Saifi, N., & Dokkar, B. (2014). Contribution on buildings design with low consumption of energy incorporated pcms. *Energy Procedia*, 50, 322-332.
- GIEC, Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, (2000), Résumé à l'intention des décideurs Scénarios d'émissions. <https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-fr.pdf>
- Givoni, B. (1978). *L'Homme, l'Architecture et le Climat*, EYROLLES
- Gordon, P., and H.W. Richardson (1996), Beyond polycentricity: the dispersed metropolis, Los Angeles, 1970-1990, *Journal of American Planning Association*, 62 (3)
- Gram-Hanssen, K. (2011). Understanding change and continuity in residential energy consumption. *Journal of Consumer Culture*, 11(1), 61-78.
- Grudet, I. (2007). L'historien Pierre Lavedan et les transformations de l'urbanisme en France (1919-1955). *Espaces et sociétés*, (3), 41-55.
- Gruet, Brice. (2006). *La rue à Rome, miroir de la ville: entre l'émotion et la norme*. Presses Paris Sorbonne.
- Gu, Z. L., Zhang, Y. W., Cheng, Y., & Lee, S. C. (2011). Effect of uneven building layout on air flow and pollutant dispersion in non-uniform street canyons. *Building and Environment*, 46(12), 2657-2665.
- Guerra-Santin O., L. Itard, H. Visscher, The effect of occupancy and building characteristics on energy use for space and water heating in Dutch residential stock, *Energy and Buildings* 41 (2009) 1223-1232.
- Haine, K., & Blumberga, D. (2016). Towards Solar Urban Planning: A New Step for Better Energy Performance Case of Study Ibenbadis, Constantine (Algeria). *Energy Procedia*, 95, 145-152.
- Halleux, J. M., & Lambotte, J. M. (2006). Comment maîtriser la demande en mobilité et limiter la dépendance automobile par l'aménagement du territoire?. *Les cahiers du CEPESS*, (1), 23-43.
- Halvorsen, B., & Larsen, B. M. (2001). Norwegian residential electricity demand—a microeconomic assessment of the growth from 1976 to 1993. *Energy policy*, 29(3), 227-236.
- Halvorsen, R. (1975). Residential Demand for Electric Energy. *Review of Economics and*
- Halvorsen, R. (1975). Residential Demand for Electric Energy. *Review of Economics and Statistics* , 57 (1), 12-18.
- Hamdani, M., Bekkouche, S. M. A., Benouaz, T., & Cherier, M. K. (2012). Study and Effect of Orientation Two Room of Buildings Located in Ghardaia, Algeria. *Energy Procedia*, 18, 632-639.
- Hamilton, I. G., Steadman, P. J., Bruhns, H., Summerfield, A. J., & Lowe, R. (2013). Energy efficiency in the British housing stock: energy demand and the homes energy efficiency database. *Energy Policy*, 60, 462-480.
- Handy, S., Cao, X., & Mokhtarian, P. (2005). Correlation or causality between the built environment and travel behavior? Evidence from Northern California. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 10(6), 427-444.
- Harold, J., Lyons, S., & Cullinan, J. (2015). The determinants of residential gas demand in Ireland. *Energy Economics*, 51, 475-483.

- Harzallah, A. (2007). *Emergence et évolution des préconisations solaires dans les théories architecturales et urbaines en France, de la seconde moitié du xix^e siècle à la deuxième guerre mondiale* (Doctoral dissertation, Nantes).
- Harzallah, A., Siret, D., Monin, E., & Bouyer, J. (2005). Controverses autour de l'axe héliothermique: l'apport de la simulation physique à l'analyse des théories urbaines. *Collections électroniques de l'inha. Actes de colloques et livres en ligne de l'Institut national d'histoire de l'art*.
- Hassanabadi, M. S., Banihashemi, S., & Javaheri, A. R. (2012). Analysis and comparison of impacts of design optimization approaches with occupant behavior on energy consumption reduction in residential buildings. *International Journal of Engineering and Technology*, 4(6), 680.
- Himri, Y., Malik, A. S., Stambouli, A. B., Himri, S., & Draoui, B. (2009). Review and use of the Algerian renewable energy for sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(6-7), 1584-1591.
- Hoek, J. (2008). The MXI (Mixed use Index). An instrument for anti-sprawl policy. In *Proceedings of the 44th ISOCARP Congress 2008*.
- Holden, E., & Norland, I. T. (2005). Three challenges for the compact city as a sustainable urban form: household consumption of energy and transport in eight residential areas in the greater Oslo region. *Urban studies*, 42(12), 2145-2166.
- Hooper, D., Coughlan, J., & Mullen, M. (2008). Structural equation modelling: Guidelines for determining model fit. *Articles*, 2.
- Hoşgör, E., & Fischbeck, P. S. (2015). Virtual home energy auditing at scale: Predicting residential energy efficiency using publicly available data. *Energy and Buildings*, 92, 67-80.
- Hu, L. T., & Bentler, P. M. (1999). Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. *Structural equation modeling: a multidisciplinary journal*, 6(1), 1-55.
- Hui, C.M. (2001), Low energy building design in high density urban cities. *Renewable Energy* 24, pp. 627–640.
- Iacobucci, D. (2010). Structural equations modeling: Fit indices, sample size, and advanced topics. *Journal of Consumer Psychology*, 20(1), 90-98.
- Ibanez, F. (1972). Interprétation de données écologiques par l'analyse des composantes principales: écologie planctonique de la Mer du Nord. *ICES Journal of Marine Science*, 34(3), 323-340.
- Jaglin, S., & Verdeil, E. (2013). Énergie et villes des pays émergents: des transitions en question. Introduction. *Flux*, (3), 7-18.
- Jahanshahi, K., Jin, Y., & Williams, I. (2015). Direct and indirect influences on employed adults' travel in the UK: New insights from the National Travel Survey data 2002–2010. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 80, 288-306
- Johnson G.T., Hunter L.J., 1999. Some insights into typical urban canyon airflows. *Atmospheric Environment* 33, 3991- 3999
- Jones, R. V., Fuertes, A., & Lomas, K. J. (2015). The socio-economic, dwelling and appliance related factors affecting electricity consumption in domestic buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 901-917.
- Kämpf, J. H., & Robinson, D. (2008). Optimisation de la forme urbaine pour une meilleure utilisation de l'énergie solaire. In *IBPSA France 2008* (No. LESO-PB-CONF-2008-035).
- Karamzadeh, S., Abdullah, S. M., Manaf, A. A., Zamani, M., & Hooman, A. (2013). An overview of principal component analysis. *Journal of Signal and Information Processing*, 4(03), 173.
- Karathodorou, N., Graham, D. J., & Noland, R. B. (2010). Estimating the effect of urban density on fuel demand. *Energy Economics*, 32(1), 86-92.
- Karjalainen, S. (2012). Thermal comfort and gender: a literature review. *Indoor air*, 22(2), 96-109.
- Kastner-Klein, P., & Rotach, M. W. (2004). Mean flow and turbulence characteristics in an urban roughness sublayer. *Boundary-Layer Meteorology*, 111(1), 55-84.
- Kavgić, M., Mavrogianni, A., Mumovic, D., Summerfield, A., Stevanovic, Z., & Djurovic-Petrovic, M. (2010). A review of bottom-up building stock models for energy consumption in the residential sector. *Building and environment*, 45(7), 1683-1697.

- Kavousian, A., Rajagopal, R., & Fischer, M. (2013). Determinants of residential electricity consumption: Using smart meter data to examine the effect of climate, building characteristics, appliance stock, and occupants' behavior. *Energy*, 55, 184-194.
- Kavousian, A., Rajagopal, R., & Fischer, M. (2013). Determinants of residential electricity consumption: Using smart meter data to examine the effect of climate, building characteristics, appliance stock, and occupants' behavior. *Energy*, 55, 184-194.
- Keith, D. A., Akçakaya, H. R., Thuiller, W., Midgley, G. F., Pearson, R. G., Phillips, S. J., ... & Rebelo, T. G. (2008). Predicting extinction risks under climate change: coupling stochastic population models with dynamic bioclimatic habitat models. *Biology letters*, 4(5), 560-563
- Kelly, S. (2011). Do homes that are more energy efficient consume less energy?: A structural equation model of the English residential sector. *Energy*, 36(9), 5610-5620.
- Kerbachi R. , F. Sahnoune, 13 avril 2011, Comment l'Algérie se prépare aux changements climatiques, Actes Journée de l'Énergie.
- Kerr, J., Frank, L., Sallis, J. F., & Chapman, J. (2007). Urban form correlates of pedestrian travel in youth: Differences by gender, race-ethnicity and household attributes. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 12(3), 177-182.
- Khan, M., Kockelman, K. M., & Xiong, X. (2014). Models for anticipating non-motorized travel choices, and the role of the built environment. *Transport Policy*, 35, 117-126.
- Khelifi. L, Rafik, B., & Djaffar, S. (2015). *Thermal and Airflow Characteristics of Transitional Spaces in a Traditional Urban Fabric Case Study of a Covered Walkway in Timimoun (South West of Algeria)*. *VFAST Transactions on Mathematics*, 7(2), 1-9.
- Khoukhi, M., Fezzioui, N., Draoui, B., & Salah, L. (2016). The impact of changes in thermal conductivity of polystyrene insulation material under different operating temperatures on the heat transfer through the building envelope. *Applied Thermal Engineering*, 105, 669-674.
- Kim, E. H. (2013). *Les transitions énergétiques urbaines du xixe au xxie siècle: de la biomasse aux combustibles fossiles et fissiles à Paris (France)* (Doctoral dissertation, Université Panthéon-Sorbonne-Paris I).
- Kitamura, R., Mokhtarian, P. L., & Laidet, L. (1997). A micro-analysis of land use and travel in five neighborhoods in the San Francisco Bay Area. *Transportation*, 24(2), 125-158.
- KORICHI, A., ROUAG, S., & SAHNOUNE, T. D. (2007). POST OCCUPANCY EVALUATION PROGRAMME (or POE): An assessment method for buildings efficiency. *Sciences & Technologie D*, (25), 8-13.
- Lajoie, J. (2006). *La géométrie fractale* (mémoire de maîtrise, Université du Québec à Trois-Rivières).
- Laoufi, L., Senhadji, Y., & Benosman, A. S. (2016). *A Study of Natural Pozzolan Mortars Exposed to Sulfate as Energy Efficient Building Material*. In *Key Engineering Materials* (Vol. 678, pp. 109-122). Trans Tech Publications.
- Laoufi, L., Senhadji, Y., & Benosman, A. S. (2016). *A Study of Natural Pozzolan Mortars Exposed to Sulfate as Energy Efficient Building Material*. In *Key Engineering Materials* (Vol. 678, pp. 109-122). Trans Tech Publications.
- Lariviere, Isabelle, and Gaëtan Lafrance (1999). *Modelling the Electricity Consumption of Cities: Effect of Urban Density*. *Energy economics* 21 (1): 53–6
- Leahy, E., & Lyons, S. (2009). Energy use and appliance ownership in Ireland. *Energy Policy*, 38(8), 4265-4279.
- Lefebvre, H. (1986). *Le retour de la dialectique: 12 mots clefs*. Fenixx.
- Lévy, A. (2005). Formes urbaines et significations: revisiter la morphologie urbaine. *Espaces et sociétés*, (3), 25-48
- Liao, H. C., & Chang, T. F. (2002). Space-heating and water-heating energy demands of the aged in the US. *Energy Economics*, 24(3), 267-284.
- Limtanakool, N., Dijst, M., & Schwanen, T. (2006). The influence of socioeconomic characteristics, land use and travel time considerations on mode choice for medium-and longer-distance trips. *Journal of transport geography*, 14(5), 327-341.

- Lindén, A. L., Carlsson-Kanyama, A., & Eriksson, B. (2006). Efficient and inefficient aspects of residential energy behaviour: What are the policy instruments for change?. *Energy policy*, 34(14), 1918-1927.
- Loi 99-09 portant sur relative à la maîtrise de l'énergie, JORA n° 51.
- Louai N, (2009). . In Evaluation énergétique des déchets solides en Algérie, une solution climatique et un nouveau vecteur énergétique. Magister's thesis, University of Batna.
- Louw, K., Conradie, B., Howells, M., & Dekenah, M. (2008). Determinants of electricity demand for newly electrified low-income African households. *Energy policy*, 36(8), 2812-2818.
- Lovins, A. B. (2004). Energy efficiency, taxonomic overview. *Encyclopedia of Energy*, 2(283-402), 6.
- Ma, J., Mitchell, G., & Heppenstall, A. (2014). Daily travel behaviour in Beijing, China: An analysis of workers' trip chains, and the role of socio-demographics and urban form. *Habitat International*, 43, 263-273.
- Magnin G. (2001). Ville et énergie. De quoi parle-t-on ? In, *Actes du colloque : villes, énergie et environnement*.
- Maïzia, M. (2008). Énergie, réseaux et formes urbaines. *Cahiers de l'iaurif*, (147), 174-179.
- Manaugh, K., & Kreider, T. (2013). What is mixed use? Presenting an interaction method for measuring land use mix. *Journal of Transport and Land use*, 6(1), 63-72.
- Manaugh, K., Miranda-Moreno, L. F., & El-Geneidy, A. M. (2009). The effect of neighbourhood characteristics, accessibility, home–work location, and demographics on commuting distances. *Transportation*, 37(4), 627-646.
- Mangin, D. (2008). Les flux, l'architecture et la ville. *Esprit*, (2), 75-91.
- Marique, A. F. (2013). *Méthodologie d'évaluation énergétique des quartiers périurbains. Perspectives pour le renouvellement périurbain wallon* (Doctoral dissertation, Université de Liège, Liège, Belgique)
- Marique, A. F., Dujardin, S., Teller, J., & Reiter, S. (2013). School commuting: the relationship between energy consumption and urban form. *Journal of transport Geography*, 26, 1-11.
- Marique and S. Reiter, A method for evaluating transport energy consumption in suburban areas, *Environmental Impact Assessment Review*, 2012, Vol 33(1):p1-6.
- Martine, G., & Marshall, A. (2007). State of world population 2007: unleashing the potential of urban growth. In *State of world population 2007: unleashing the potential of urban growth*. UNFPA.
- Martinez, L. (2010). Algérie: les illusions de la richesse pétrolière. *Etudes du CERI*, (168), 1-36.
- Martuccelli D. (2002), "Sociologie et posture critique", *À quoi sert la sociologie?*, B. Lahire (dir), ed. La découverte, Paris, pp. 137-154.
- MATE, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'environnement). Seconde communication nationale de l'Algérie sur les changements climatiques à la CCNUCC, projet GEF –PNUD 00039149, 2010, Algiers
- Matec, 2010, Inventaire national des émissions de gaz à effet de serre de l'année 2000.
- MATEV (2015), GUIDE POUR UNE CONSTRUCTION ECO-ENERGETIQUE EN ALGERIE.
- Mcloughlin, F., Duffy, A., & Conlon, M. (2012). Characterising domestic electricity consumption patterns by dwelling and occupant socio-economic variables: An Irish case study. *Energy and Buildings*, 48, 240-248.
- MEAT+GIEC : 2001 Elaboration de la stratégie et du plan d'action national des changements climatiques, MEAT+GIEC 2001
- Mebtoul abderrahman, (2013), Quelles perspectives énergétiques pour l'Algérie ?, CDER
- MEDENER, Association méditerranéenne des agences nationales de la maîtrise de l'énergie, (2014), Tendance de l'efficacité énergétique dans les pays du bassin méditerranéen, 79p.
- MEKIDECHE.M, (1996), Vue d'ensemble et rôle du secteur des hydrocarbures dans la stratégie de développement de l'Algérie : Défie et enjeux.
- Mekideche, M. (2009). Le secteur des hydrocarbures en Algérie. *Confluences Méditerranée*, (4), 153-166.
- MEM, 2005. www.mem-algeria.org/fr/enr/pot.htm#hydrélectricité.
- MEM, ministère de l'énergie et des mines, (2004), La revue du secteur de l'Energie et des Mines n03..
- MEM, Ministère de l'énergie et des mines, (2004), Revue La Revue du secteur de l'Energie et des Mines n03, 2004.

- Mérenne-Schoumaker, Bernadette (2002). La localisation des industries, Enjeux et dynamiques. Presses Universitaires de Rennes, Didact Géographie, 243p.
- Mérenne-Schoumaker, Bernadette (2003) Géographie des services et des commerces. Rennes, Presses universitaires de Rennes, (Coll. «Didact Géographie»), 239 p. (ISBN 2-86847-849-2)
- Merve Bedir, Emre C.Kara, Behavioral patterns and profiles of electricity consumption in dutch dwellings, Energy and Buildings <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.06.015>
- Merzouk, N. K. (2006). Evaluation du gisement énergétique éolien-Contribution à la détermination du profil vertical de la vitesse du vent en Algérie (Doctoral dissertation, Thèse de doctorat. Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen).
- Meuriot, P. (1916), du calcul de la population par feux. Journal de la société statistique de Paris, pp 455-457.
- Mihoub, S., Chermiti, A., & Beltagy, H. (2017). Methodology of determining the optimum performances of future concentrating solar thermal power plants in Algeria. *Energy*, 122, 801-810.
- Missoum, A., Slimani, A., Khelfaoui, R., Fezzioui, N., & Belarbi, R. (2009). *Air Distribution Simulation in Interior Street Canyon in the Case Microclimate of South West Algeria*. International Review of Mechanical Engineering, 3(2), 258-264.
- Missoum, M., Hamidat, A., Imessad, K., Bensalem, S., & Khoudja, A. (2016). Impact of a grid-connected PV system application in a bioclimatic house toward the zero energy status in the north of Algeria. *Energy and Buildings*, 128, 370-383.
- Montavon, M. (2010). Optimization of urban form by the evaluation of the solar potential. These de doctoral. Université de Lausanne.
- Moulaï, A., & Harrane, K. (2008). Suivi de la stratégie méditerranéenne de développement durable-Le développement agricole et rural-Étude nationale Algérie. *Plan Bleu-Ciheam*.
- Næss, P. (2010). Residential location, travel, and energy use in the Hangzhou metropolitan area. *Journal of transport and land use*, 3(3), 27-59.
- Naess, P. (2014). Tempest in a teapot: The exaggerated problem of transport-related residential self-selection as a source of error in empirical studies. *Journal of transport and land use*, 7(3), 57-79.
- Ndiaye, D., & Gabriel, K. (2011). Principal component analysis of the electricity consumption in residential dwellings. *Energy and buildings*, 43(2), 446-453.
- Nedjraoui, D., & Bédrani, S. (2008). La désertification dans les steppes algériennes: causes, impacts et actions de lutte. *Vertigo*, 8(1).
- Newman, P. W. G. And J. R. Kenworthy (1989). *Cities and Automobile Dependence: An International Sourcebook*. Aldershot, UK: Gower.
- Newman, P. W., & Kenworthy, J. R. (1996). The land use—transport connection: An overview. *Land use policy*, 13(1), 1-22.
- Nguyen, Quan Son, (2015), Metropolization in Hanoi: An Understanding by Urban Growth and Dynamics, Post-Print, HAL, <https://econpapers.repec.org/repec:hal:journl:halshs-01327384>.
- Nielsen, L. (1993). How to get the birds in the bush into your hand: results from a Danish research project on electricity savings. *Energy policy*, 21(11), 1133-1144.
- Oke, T. R. (1973). City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment* (1967), 7(8), 769-779.
- Oke, T. R. (1981). Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. *International Journal of Climatology*, 1(3), 237-254.
- Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), 1-24.
- Oke, T. R., & Cleugh, H. A. (1987). Urban heat storage derived as energy balance residuals. *Boundary-Layer Meteorology*, 39(3), 233-245.
- ONS, Office national de statistiques, (2011), Enquete sur les depenses de consommation et le niveau de vie des menages. 1Dépenses de consommation des ménages algériens en 2011 . Par - La Direction technique chargée des statistiques sociales et des revenus.

- Ostermeier, M., Linde, S., Lay, J., & Prediger, S. (2015). Des indicateurs «SMART» pour mesurer le travail décent: proposition dans la perspective du programme de développement pour l'après-2015. *Revue internationale du Travail*, 154(3), 315-3
- Ouedraogo, B. (2006). Household energy preferences for cooking in urban Ouagadougou, Burkina Faso. *Energy policy*, 34(18), 3787-3795.
- Ouyang J & Hokao K, (2009). *Energy-saving potential by improving occupants' behavior in urban residential sector in Hangzhou City, China*. *Energy and Buildings*, 41(7), 711-720.
- Owen, J. A. (2014). Principal Component Analysis: Data Reduction and Simplification. *Mcnaair Scholars Research Journal*, 1(1), 2.
- Öztuna, D., Elhan, A. H., & Tüccar, E. (2006). Investigation of four different normality tests in terms of type 1 error rate and power under different distributions. *Turkish Journal of Medical Sciences*, 36(3), 171-176.
- Pan, H., Shen, Q., & Zhang, M. (2009). Influence of urban form on travel behaviour in four neighbourhoods of Shanghai. *Urban studies*, 46(2), 275-294.
- Parker, D. S. (2003). Research highlights from a large scale residential monitoring study in a hot climate. *Energy and Buildings*, 35(9), 863-876.
- Parti, M., & Parti, C. (1980). The total and appliance-specific conditional demand for electricity in the household sector. *The Bell Journal of Economics*, 309-321.
- Pechenizkiy, M., Tsymbal, A., & Puuronen, S. (2004, June). PCA-based feature transformation for classification: Issues in medical diagnostics. In *Computer-Based Medical Systems, 2004. CBMS 2004. Proceedings. 17th IEEE Symposium on* (pp. 535-540). IEEE.
- Pitt, Damian. (2012a), *Assessing Energy Use and Greenhouse Gas Emission Savings from Compact Housing: A Small-town Case Study*. *Local Environment: The International Journal of Justice and Sustainability*. Doi:10.1080/13549839.2012.748724.
- Pitt, Damian. (2012b). *Evaluating the Greenhouse Gas Reduction Benefits of Compact Housing Development*. *Journal of Environmental Planning and Management*. 56 (4): 588–606.
- Pouyanne, G. (2005). Diversité des usages du sol et mobilité quotidienne Une application a l'aire urbaine de Bordeaux. *Cahier n*, 08.
- Provensal, H. (1908). *L'habitation salubre et à bon marché*. C. Schmid.
- Quertinmont, J. C. (2007). La mesure des attitudes et des comportements des Bruxellois en matière de consommation d'énergie: apport d'un baromètre de l'utilisation rationnelle de l'énergie (URE). *Mémoire de fin d'études, Bruxelles, ULB-IGEAT*
- Ratti, C., Baker, N., & Steemers, K. (2005). Energy consumption and urban texture. *Energy and buildings*, 37(7), 762-776.
- Ratti, C., Di Sabatino, S., & Britter, R. (2006). Urban texture analysis with image processing techniques: winds and dispersion. *Theoretical and Applied Climatology*, 84(1), 77-90.
- Ratti, C., Raydan, D., & Steemers, K. (2003). Building form and environmental performance: archetypes, analysis and an arid climate. *Energy and buildings*, 35(1), 49-59.
- Raynaud, M., Bourges, B., Osso, D., Duplessis, B., & Adnot, J. (2015). Bottom-up statistical analysis of the energy consumption of French single-family dwellings.
- REBIAI, H, (2014), Les espaces naturels dans les extensions urbaines de la ville de Djelfa. mémoire de magistère. Ecole polytechnique d'architecture et d'urbanisme (EPAU).
- Robitaille, É., Laguë, J., & Robitaille, É. (2009). *Indicateurs géographiques de l'environnement bâti et de l'environnement des services influant sur l'activité physique, l'alimentation et le poids corporel* (pp. 32-36). Institut national de santé publique du Québec.
- Rogers, R. G., & Gumuchdian, P. (2008). *Des Villes durables pour une petite planète*. Moniteur.
- Roseland, M. (1997). Dimensions of the eco-city. *Cities*, 14(4), 197-202
- Roth, M., Oke, T. R., & Emery, W. J. (1989). Satellite-derived urban heat islands from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology. *International Journal of Remote Sensing*, 10(11), 1699-1720.
- Rouleau, B. (1985). Villages et faubourgs de l'ancien Paris: histoire d'un espace urbain. Éditions du Seuil.

- Rutherford, J., & Coutard, O. (2014). *Urban energy transitions: places, processes and politics of socio-technical change*, *Urban studies*, 51(7) 1353–1377
- Saheb-Koussa, D., Haddadi, M., & Belhamel, M. (2009). Economic and technical study of a hybrid system (wind–photovoltaic–diesel) for rural electrification in Algeria. *Applied Energy*, 86(7), 1024-1030.
- Sahnoune, F., Belhamel, M., & Zemat, M. (2016). Algerian energy policy and potential to reducing greenhouse gas emissions. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, And Policy*, 11(12), 1118-1127.
- Sahnoune, F., Belhamel, M., Zemat, M., & Kerbach, R. (2013). Climate change in Algeria: vulnerability and strategy of mitigation and adaptation. *Energy Procedia*, 36, 1286-1294.
- Salat, S. (2011). Les villes et les formes urbaines: sur l'urbanisme durable. *France*.
- Salat, S., & Nowacki, C. (2010). De l'importance de la morphologie dans l'efficience énergétique des villes. *Liaison Energie Francophonie*, 86.
- Samia Kitous (thèse 2013). Le rapport entre morphologie et climat urbain dans le ksar de Ghardaïa : le cas de la ventilation naturelle. Thèse de doctorat, École polytechnique d'architecture et d'urbanisme d'Alger, 2013
- Santamouris, M., Kapsis, K., Korres, D., Livada, I., Pavlou, C., & Assimakopoulos, M. N. (2007). On the relation between the energy and social characteristics of the residential sector. *Energy and Buildings*, 39(8), 893-905.
- Santin, O. G., Itard, L., & Visscher, H. (2009). The effect of occupancy and building characteristics on energy use for space and water heating in Dutch residential stock. *Energy and buildings*, 41(11), 1223-1232.
- Santin, O. G., Itard, L., & Visscher, H. (2009). The effect of occupancy and building characteristics on energy use for space and water heating in Dutch residential stock. *Energy and buildings*, 41(11), 1223-1232.
- Schreiber, J. B., Nora, A., Stage, F. K., Barlow, E. A., & King, J. (2006). Reporting structural equation modeling and confirmatory factor analysis results: A review. *The Journal of educational research*, 99(6), 323-338.
- Schumacher, L. (2009). *La planification énergétique urbaine: les enjeux du réaménagement de la friche de Malley* (Doctoral dissertation).p 47.
- Sénit, C. A. (2007). L'efficacité énergétique dans le secteur résidentiel: une analyse des politiques des pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée. *Iddri, Idées pour le débat*, (14).
- Senouci, B. (2015). Les enjeux de la transition énergétique en Algérie.
- Singh, M. K., Mahapatra, S., & Teller, J. (2013). An analysis on energy efficiency initiatives in the building stock of Liege, Belgium. *Energy policy*, 62, 729-741
- Sini, J.F., Anquetin, S., Mestayer, P.G., 1996. Pollutant dispersion and thermal effects in urban street canyons. *Atmospheric Environment* 30, 2659-2677.
- Siret, D., & Harzallah, A. (2006, November). Architecture et contrôle de l'ensoleillement. In *Congrès IBPSA France*.
- Siret, D. « Rayonnement solaire et environnement urbain : de l'héliotropisme au désenchantement, histoire et enjeux d'une relation complexe », *Développement durable et territoires* [En ligne], Vol. 4, n°2 | Juillet 2013, mis en ligne le 15 juillet 2013, consulté le 25 décembre 2017. URL : <http://journals.openedition.org/developpementdurable/9767> ; DOI : 10.4000/developpementdurable.9767
- Slougui . 2010, M.CHATELUS : « Nouvelles orientations de la politique pétrolière Algérienne », revue Maghreb-Machrek, n° 166, 1999.
- Slougui, Z. Université de Constantine 2010, Les éléments d'efficacité d'une politique énergétique. Thèse de doctorat.
- Stambouli, A. B. (2011). Promotion of renewable energies in Algeria: strategies and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(2), 1169-1181.
- Steadman, P. (1979). *Energy and patterns of land use*. In: *Energy conservation through building design*. Ed. Watson, D. McGraw-Hill, New York, pp. 246-260
- Steemers, K. (2003), Energy and the city: density, buildings and transport, *Energy and Buildings* (35) 3–14
- Summerfield, A. J., Pathan, A., Lowe, R. J., & Oreszczyn, T. (2010). Changes in energy demand from low-energy homes. *Building Research & Information*, 38(1), 42-49.
- Svensson, M. K. (2004). Sky view factor analysis—implications for urban air temperature differences. *Meteorological applications*, 11(3), 201-211.

- Szokolay, S.V., 'Environmental Science Handbook for Architects and Builder', the Construction Press, Lacastre, London, New York, 263 p., 1979.
- Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2001). Using Multivariate Statistics. Boston: Allyn and Bacon.
- Tannier, C., Thomas, I., Vuidel, G., & Frankhauser, P. (2011). A Fractal Approach to Identifying Urban Boundaries. 城市边界识别的分形方法. *Geographical Analysis*, 43(2), 211-227.
- Terminology Kenny, D. A. (2011). Terminology and basics of SEM. *Terminology*
- Thongrattana, P. T. (2010). Assessing reliability and validity of a measurement instrument for studying uncertain factors in Thai rice supply chain
- Tiwari, P. (2000). Architectural, demographic, and economic causes of electricity consumption in Bombay. *Journal of Policy Modeling*, 22(1), 81-98
- Toudert, F. A., & Mayer, H. (1997). Street Design and Thermal Comfort in Hot and Dry Climate.
- Trépanier, P. Y. (2005). *Évolution du concept d'énergie*, Travail présenté au Prof. François Wesemael dans le cadre du cours Évolution des concepts en physique (PHY3012), Université de Montréal, Canada.
- Tso, G. K., & Yau, K. K. (2007). Predicting electricity energy consumption: A comparison of regression analysis, decision tree and neural networks. *Energy*, 32(9), 1761-1768.
- UN, United Nations, (2011), Emissions Summary for Algeria.
- Upmanis, H. (1999) Influence of parks on local climate. Earth Sciences Centre, Goteborg University, A43 Doctoral thesis " (available from Goteborg University, Department of Earth " Sciences, Box 460, SE-405 30 Goteborg, Sweden).
- Van Acker, V., & Witlox, F. (2010). Car ownership as a mediating variable in car travel behaviour research using a structural equation modelling approach to identify its dual relationship. *Journal of Transport Geography*, 18(1), 65-74.
- Van Eck, J. R., & Koomen, E. (2008). Characterising urban concentration and land-use diversity in simulations of future land use. *The Annals of Regional Science*, 42(1), 123-140.
- Vassileva, I. (2012). *Characterization of household energy consumption in Sweden: energy savings potential and feedback approaches* (Doctoral dissertation, Mälardalen University).
- Whitehand, J. 2001. « British urban morphology : the conzenian tradition », Urban Morphology 2. Rapporté par Lévy (2005).
- Wiesmann, D., Azevedo, I. L., Ferrão, P., & Fernández, J. E. (2011). Residential electricity consumption in Portugal: Findings from top-down and bottom-up models. *Energy Policy*, 39(5), 2772-2779.
- Wong, N. H., Jusuf, S. K., Syafii, N. I., Chen, Y., Hajadi, N., Sathyanarayanan, H., & Manickavasagam, Y. V. (2011). Evaluation of the impact of the surrounding urban morphology on building energy consumption. *Solar Energy*, 85(1), 57-71.
- Worldbank World Bank: WB data available in <http://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.PC>
- WWF suisse : Rapport Planète Vivante 2016 .
- Yousfi, F., Bourbia, F., & Ballout, A. (2017). *Impact des formes urbaines sur le microclimat extérieur des tissus urbains anciens et nouveaux de la ville de Constantine*. *Nature & Technology*, (16), 1E.
- Zaraket, T., Yannou, B., Leroy, Y., Minel, S., & Chapotot, E. (2014, August). A Stochastic activity-based approach for forecasting occupant-related energy consumption in residential buildings. In *ASME 2014 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference* (pp. V004T06A034-V004T06A034). American Society of Mechanical Engineers.
- Zhang, Y., Wu, W., Li, Y., Liu, Q., & Li, C. (2014). Does the built environment make a difference? An investigation of household vehicle use in Zhongshan metropolitan area, China. *Sustainability*, 6(8), 4910-4930
- Zhou, S., & Teng, F. (2013). Estimation of urban residential electricity demand in China using household survey data. *Energy Policy*, 61, 394-4

Liste des Figures

FIG 1 : PROJECTIONS REGIONALES DE L'IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LA TEMPERATURE MOYENNE ET LES PRECIPITATIONS (CHANGEMENT ENTRE 1980 ET 1999 ET 2080 A 2099).....	2
FIG 2 : SCHEMA D'ORGANISATION FONCTIONNELLE DU TERRITOIRE SELON LE SNAT. SOURCE : JOURNAL OFFICIEL N61, ...	4
FIG 3 : CONTENU DU QUESTIONNAIRE FERME PORTANT SUR LA MOBILITE DOMICILE-TRAVAIL.....	8
FIG 4 : METHODOLOGIE DE RECHERCHE ADOPTEE (SOURCE : AUTEUR)	9
FIG 5 : STRUCTURATION DE LA THESE.....	11
FIG 1- 1 : EVOLUTION DE LA PRODUCTION DU GAZ NATUREL ET DE LA POPULATION DEPUIS L'INDEPENDANCE A NOS JOURS. REALISE PAR S. BOUKARTA A PARTIR DES DONNEES DE L'ONS (2011).....	14
FIG 1- 2: EVOLUTION DE LA PART DU PETROLE DANS LE PIB DE 1963 A 2011. REALISE PAR S. BOUKARTA A PARTIR DE L'ONS (2011).	15
FIG 1- 3: EVOLUTION DE L'INTENSITE ENERGETIQUE EN ALGERIE. SOURCE : APRUE : 2007.....	16
FIG 1- 4: COMPARAISON EN TERMES D'INTENSITE ENERGETIQUE. SOURCE : APRUE : 214.....	16
FIG 1- 5: EVOLUTION RETROSPECTIVE DU BILAN ÉNERGETIQUE NATIONAL ALGERIEN. SOURCE : S.BOUKARTA A PARTIR DES DONNEES DU MEM.....	17
FIG 1- 6: EVOLUTION RETROSPECTIVE DE LA CONSOMMATION D'ENERGIE PAR SECTEURS. SOURCE : S. BOUKARTA D'APRES MEM	18
FIG 1- 7: EVOLUTION DE LA CONSOMMATION DES COMBUSTIBLES ET CONDENSATS. SOURCE : S.BOUKARTA, D'APRES MEM.	18
FIG 1- 8: EVOLUTION DE LA CONSOMMATION DES COMBUSTIBLES ET CONDENSATS. SOURCE : S. BOUKARTA D'APRES MEM.	19
FIG 1- 9: EVOLUTION DE LA CONSOMMATION DES PRODUITS PETROLIERS. SOURCE : S. BOUKARTA D'APRES MEM.	19
FIG 1- 10: EVOLUTION DE LA CONSOMMATION DU GAZ. SOURCE : S. BOUKARTA D'APRES MEM.	19
FIG 1- 11: EVOLUTION DE LA CONSOMMATION DE L'ELECTRICITE. SOURCE : S. BOUKARTA D'APRES MEM.	20
FIG 1- 12: EVOLUTION DE LA CONSOMMATION PRIMAIRE DE 1984-2004. SOURCE, (MEM : 2015).	20
FIG 1- 13: EVOLUTION DE LA CONSOMMATION FINALE PAR HABITANT DE 1984-2004. SOURCE, (MEM : 2015). REALISE PAR S.BOUKARTA A PARTIR DE ONS (2013) ET MEM (2015).....	21
FIG 1- 14: ACTIVITES CONSOMMATRICES D'UN MENAGE TYPE EN ALGERIE. SOURCE : APRUE(2008).	22
FIG 1- 15: PROJECTION DE LA PRODUCTION DE L'ENERGIE, HORIZON 2042. SOURCE : CHERFI (2010).	23
FIG 1- 16: RESERVES PROUVEES ENTRE 1994 ET 2004. SOURCE : S.BOUKARTA A PARTIR DE BP STATISTICAL REVIEW (2015).	24
FIG 1- 17: EVOLUTION DE LA TEMPERATURE DE SURFACE SELON LES SCENARIOS DE DEVELOPPEMENT. SOURCE : IPCC (IPCC.CH).....	25
FIG 1- 18: EVOLUTION DES EMISSIONS DES GAZ A EFFET DE SERRE. SOURCE : MATE (2010)	26
FIG 1- 19: : EVOLUTION EMISSION DE TEQ CO2 ENTRE 1990 ET 2014. SOURCE : DATA.WORLDBANK.	26
FIG 1- 20: EVOLUTION EMISSION EMISSION DE CO2 PAR 1\$ PPP DU PIB ENTRE 1990 ET 2014.	27
FIG 1- 21 : EVOLUTION DE L'EMPREINTE ECOLOGIQUE GLOBALE ENTRE 1961 ET 2012 ET EXTRAPOLATION STATISTIQUE POUR LA PERIODE 2013-2020. SOURCE : WWF (2016).....	28
FIG 1- 22 : LES CHEMINS DE DURABILITE. SOURCE : BOUTAUD (2005)	28
FIG 1- 23 : EMPREINTE ECOLOGIQUE EN 2012. SOURCE : WWF (2016 :78).....	29
FIG 1- 24 : CASCADE REGLEMENTAIRE PROVOQUEE PAR LA LOI 99-09. SOURCE : S. BOUKARTA.....	32
FIG 1- 25 : BUS EQUIPE EN GN. SOURCE : APRUE : 2011.	35
FIG 1- 26 : POTENTIEL SOLAIRE EN ALGERIE. SOURCE : CDER. HTTP://WWW.CDER.DZ.	36
FIG 1- 27 : VILLAGES EQUIPES DE PANNEAUX SOLAIRES PHOTOVOLTAÏQUES. SOURCE : MEM : 2013.	37
FIG 1- 28 : LE POTENTIEL EOLIEN EN ALGERIE. SOURCE : BOUKELIA ET MECIBAH (2012).....	37
FIG 1- 29 : CARTE PRELIMINAIRE DE L'ATLAS ALGERIEN. SOURCE : FEKRAOUI ET ABOURICHE : 1999.	38
FIG 1- 30 : INTEGRATION DES ENERGIES RENOUVELABLES A L'HORIZON 2030. SOURCE : APRUE 2011.	41
FIG 1- 31 : CONSOMMATION D'ENERGIE PAR MENAGE EN FONCTION DU REVENU. SOURCE : MED-ENER (2014)	42
FIG 1- 32 : CONSOMMATION DE L'ELECTRICITE EN FONCTION DU PRIX DU KWH.....	42
FIG 1- 33 : MODE DE TARIFICATION DE L'ENERGIE APPLICABLE A PARTIR DE 2016. A DROITE, L'ELECTRICITE, A GAUCHE LE GAZ. SOURCE (CREG : 2015).	43
FIG 1- 34 : TEMPS DE RETOUR POUR LE CONSOMMATEUR PAR PAYS. (EL ANDALOUSSI ET AL : 2009).....	44

FIG 1- 35 : TEMPS DE RETOUR DU CHAUFFE-EAU-SOLAIRE POUR LE CONSOMMATEUR FINAL. SOURCE : (ELANDALOUSSI ET AL : 2011 : P 52).	45
FIG 1- 36 : OBSTACLES DE L'APPLICATION DE LA POLITIQUE ENERGETIQUE. SOURCE : S. BOUKARTA	45
FIG 1- 37: ENGRENAGE DES ETAPES POUR LA REUSSITE DE LA POLITIQUE ENERGETIQUE. SOURCE : S. BOUKARTA	47
FIG 1- 38: VOILETS D'INTERVENTION DE LA RECHERCHE PORTANT SUR L'ENERGIE. SOURCE : S.BOUKARTA	50
FIG 1- 39: ZONE CLIMATIQUE SELON LA CONSOMMATION D L'ENERGIE (SOURCE : GHEDAMSI ET AL : 2016)	56
FIG 2- 1: DEVELOPPEMENT DE LA FORME URBAINE. SOURCE : AUTEUR, A PARTIR DE : BENEVOLO (1995), SALAT (2011) ET PANERAI ET AL (2009)	66
FIG 2- 2 : IMPACT DE LA FORME URBAINE SUR LA PERFORMANCE ENERGETIQUE. SOURCE : BAKER ET STEMMERS (2000)	67
FIG 2- 3: DIFFERENTS DOMAINES D'INTERACTION ENTRE LA FORME URBAINE (CONTENANT STATIQUE) ET L'OCCUPANT (CONTENANT DYNAMIQUE) DETERMINANTS L'USAGE DE L'ENERGIE EN MILIEU URBAIN. SOURCE : AUTEUR & BEREZOWSKA-AZZAG	69
FIG 2- 4: EXEMPLE DE DEPERDITIONS THERMIQUES COMPAREES DE L'ENVELOPPE DE DIFFERENTS LOGEMENTS DE 96 M ²	70
FIG 2- 5: LE VOLUME PASSIF. RATTI ET AL (2005)	71
FIG 2- 6: EXEMPLE D'UNE RECOMPOSITION DE LA MEME DENSITE. CHENG ET AL (2006 : 6)	76
FIG 2- 7: TYPE D'ILOTS CONSIDERES DANS LA SIMULATION DE GAUCHE A DROITE : LE TYPE TERRASSE, DALLE, ILOTS A COURS, ET PAVILLONAIRE. SOURCE : MONTAVON (2010)	76
FIG 2- 8 : LES TYPES D'ILOTS UTILISES POUR L'ADMITTANCE SOLAIRE. SOURCE : SALAT (2011 : 198)	77
FIG 2- 9 : IMAGE SYNTHETIQUE GENeree PAR LE LOGICIEL RADIANCE DU MEILLEUR CAS APRES 12 000 EVALUATIONS DE FORMES DIFFERENTES. (KÄMPF ET ROBINSON : 2008 : 5)	78
FIG 2- 10 : VARIATION DE LA TEMPERATURE DE SURFACE MOYENNE SUR LES FAÇADES EST ET OUEST AVEC UNE ORIENTATION AXIALE NORD-SUD. SOURCE : HARZALLAH : (2007 : 231)	78
FIG 2- 11 : EXEMPLE D'UN MODELE DEM. SOURCE : RATTI ET AL (2003)	79
FIG 2- 12 : RUE DE TYPE CANYON AVEC UN RAPPORT D'ASPECT W/H SUPERIEUR A 2,5 (RUGOSITE ISOLEE), COMPRIS ENTRE 1,54 ET 2,5 (INTERFERENCE DE SILLAGE), ET INFERIEUR A 1,54 (RASANT). (OKE : 1987)	81
FIG 2- 13 : VITESSES DU VENT AU NIVEAU DES INTERSECTIONS. CARPENTIERE ET AL (2009 : 14)	82
FIG 2- 14 : EXEMPLE DE ROSE DE LA RUGOSITE OBTENUE PAR APPLICATION DE LA METHODE MORPHOMETRIQUE CONSIDERANT LES HAUTEURS ET LA DENSITE FRONTALE. BOUKARTA ET MOKHTARI (2017)	83
FIG 2- 15 : DIAGRAMME POLAIRE MONTRANT LA VARIATION DE LA DIRECTION DU VENT SUIVANT LES DIFFERENTS ANGLES. CAS : LONDRES, TOULOUSE ET BERLIN SONT MONTRES DE GAUCHE A DROITE (LES VALEURS EN M). RATTI ET AL : 2005 : 88.	83
FIG 2- 16 : STRUCTURE VERTICALE DE L'ATMOSPHERE URBAINE POUR DES VENTS SUPERIEURS. SOURCE : BOZZONET (2005)	84
FIG 2- 17 : VARIATION DE TEMPERATURE ENTRE L'URBAIN ET LE RURAL, OKE (1982)	85
FIG 2- 18 : COMPARAISON, EN POURCENTAGE, DE LA DEMANDE ENERGETIQUE CALCULEE SUR LES 28 JOURS D'ETUDE POUR LES DIFFERENTS NIVEAUX DE DETERMINATION DES CONDITIONS EXTERIEURES PAR RAPPORT AU CAS DE REFERENCE. BOZZONET (2005 : 159)	86
FIG 2- 19 : MODE DE MOBILITE ET MODELE DE FORMES URBAINES. NEWMAN ET KENWORTHY (1996) RAPPOTE PAR HALLEUX ET LAMBOTTE (2006 : 27)	88
FIG 2- 20 : SYSTEME VIAIRES PROPOSEE EN 20 ^{EME} SIECLE. DAVID MANGIN (2003)	89
FIG 2- 21 : RAYON D'ACTION DES POINTS DE DESSERTE EN TC. LES ZONES RESTEES EN NOIR CONSTITUENT LES ZONES NON DESSERVIES. ROGERS : 2008.	90
FIG 2- 22 : ETAPES D'APPLICATION DE L'APPROCHE SYSTEMIQUE. SOURCE : DURAND ET NUNEZ (2002)	93
FIG 2- 23 : APPROCHE SYSTEMIQUE ADAPTEE A NOTRE RECHERCHE. AVEC : O : OCCUPANT, B : BATIMENT, M : MOBILITE, PNME : POTENTIEL DE MAITRISE DE L'ENERGIE. SOURCE : S. BOUKARTA	94
FIG 2- 24 : ECHELLES D'INTERVENTION ET LES DETERMINANTS DE LA MAITRISE DE L'ENERGIE. SOURCE : S. BOUKARTA	95
FIG 2- 25 : MODELE GENERAL EXPLIQUANT LE POTENTIEL DE MAITRISE DE L'ENERGIE DES FORMES URBAINES. SOURCE : S. BOUKARTA	96
FIG 3- 1: REGISTRE DES DETERMINANTS DE LA CONSOMMATION D'ENERGIE DES MENAGES. SOURCE : S. BOUKARTA A PARTIR DE L'ETAT DE L'ART.	100
FIG 3- 2: DECOMPOSITION DE LA CONSOMMATION D'ELECTRICITE EN TROIS TYPES : MAXIMUM, MINIMUM ET MOYENS. KAVOUSIAN ET AL (2013)	106

FIG 3- 3: DENSITE DE POPULATION ET CONSOMMATION DU GAZ POUR LA WILAYA D'ALGER. SOURCE : BOUKARTA ET BEREZOWSKA-AZZAG (2017-A).....	107
FIG 3- 4: TAUX DE MITOYENNETE EN WALLONIE PAR SECTEUR STATISTIQUE. SOURCE, CADMAP 2009, RAPPORTE PAR SINGH ET AL (2013).....	109
FIG 3- 5 : ESTIMATION DE LA DEMANDE ENERGETIQUE VENTILEE PAR LES VARIATION DU VOLUME PASSIF A LONDRES. RATTI ET AL (2005).....	110
FIG 3- 6 : REGRESSION LINEAIRE DE LA CONSOMMATION DU GAS PAR RAPPORT A LA SURFACE D'ETAGE. SOURCE : KEITH ET AL (2008).....	112
FIG 3- 7 : LES PISTES DE CAUSALITE ETUDIEES PAR CHEN ET AL (2013)	126
FIG 3- 8 : DECOMPOSITION DE LA CONSOMMATION DE L'ELECTRICITE PAR SECTEUR DE CONSOMMATION. PARKER (2002).	128
FIG 3- 9 : EVOLUTION DE L'EFFICACITE ENERGETIQUE DES APPAREILS MENAGERS (A GAUCHE) ET EVOLUTION DE LA CONSOMMATION D'ENERGIE GENeree PAR LES MEME APPAREILS MENAGERS (A DROITE) SOURCE : GRAM-HANSSEN (2011).	131
FIG 3- 10 : EN HAUT A GAUCHE : LA CONSOMMATION DE L'ELECTRICITE GENeree PAR L'USAGE DE LA RADIO COMME ACTIVITE PRINCIPALE. EN HAUT A DROITE : LA CONSOMMATION DE L'ELECTRICITE GENeree PAR L'USAGE DE LA RADIO COMME ACTIVITE SECONDAIRE. EN BAS A GAUCHE : LA CONSOMMATION DE L'ELECTRICITE GENeree PAR L'USAGE DE LA TV COMME ACTIVITE PRINCIPALE. EN BAS A DROITE : LA CONSOMMATION DE L'ELECTRICITE GENeree PAR L'USAGE DE LA TV COMME ACTIVITE SECONDAIRE. SOURCE : ELLEGÅRD ET AL (2011).	132
FIG 3- 11 : FREQUENCE D'UTILISATION DES ORDINATEURS ET TV/VIDEO/DVD EN SUEDE. (N=19). SOURCE : VASSILEVA (2012).	133
FIG 4- 1 : CADRE CONCEPTUEL CARACTERISANT LA MOBILITE. ADAPTE PAR S. BOUKARTA A PARTIR DE L'ETAT DE L'ART. .	139
FIG 4- 2 : CONSOMMATION DE CARBURANT ET DENSITE URBAINE EN 1980. NEWMAN ET KENWORTHY (1989).	144
FIG 4- 3 : INDICE D'ENTROPIE IDENTIQUE POUR DES REPARTITIONS FONCTIONNELLE DIFFERENTE. SOURCE : MANAUGH ET AL (2013).....	147
FIG 4- 4 : METHODOLOGIE SUIVIE POUR LA CONSTRUCTION DE L'INDICE DE MIXITE FONCTIONNELLE. SOURCE DUJARDIN (2010 : 116).....	147
FIG 4- 5 : DEVELOPPMENT DE L'INDICE DE MIXITE FONCTIONNELLE DE L'EST A L'OUEST D'AMSTERDAM. SOURCE : HOEK (2008)	148
FIG 4- 6 : CONFIGURATIONS SPATIALES DIFFERENTES DE DEUX RESEAUX TOPOLOGIQUEMENT IDENTIQUES. (GENRE-GRANDPIERRE : 2013).....	150
FIG 4- 7 : EXEMPLE DE LA TORTUOSITE DE QUELQUES TRAJETS. GENRE-GRANDPIERRE (2013).....	151
FIG 4- 8 : CARACTERISTIQUE DES DEUX QUARTIERS. CERVERO ET RADISCHE (1996).	151
FIG 4- 9 : DISTANCE PARCOURUE EN VOITURE EN ANGLETERRE PAR COHORTE POUR LA PERIODE 1970-95. SOURCE : DAGRAY (2004)	159
FIG 4- 1: VALEURS MAXIMALES DE L'IMPACT DES DETERMINANTS LIE A : (A) CARACTERISTIQUES SOCIO-ECONOMIQUES DES MENAGES, (B) A L'ENVIRONNEMENT.	168
FIG 4- 11 : MODELE GENERAL DES CATEGORIES DES PARAMETRES OBTENU DE L'ETAT DE L'ART. SOURCE : S. BOUKARTA	169
FIG 4- 12 : EXEMPLE DE VARIABLE ENDOGENE, EXOGENE ET LATENTE, D'EFFET DIRECT ET INDIRECT. SOURCE : (KENNY : 2011).....	180
FIG 4- 13 : ANALYSES DE SENSIBILITE ADOPTEE.	181
FIG 4- 14 : MODELE D'ANALYSE ADOPTE. OU O : OCCUPANT, AS : ANALYSE DE SENSIBILITE ET PME : POTENTIEL DE MAITRISE DE L'ENERGIE. SOURCE : S. BOUKARTA.....	183
FIG 5- 1: ETENDUE DE LA REGION DES HAUTS PLATEAUX. SOURCE : BENSLIMANE : 2008.....	185
FIG 5- 2 : CARTE DE SENSIBILITE A LA DESERTIFICATION. SOURCE : BENSLIMANE (2008)	186
FIG 5- 3 : LES DOLMENS A L'ENTREE DE L'ACTUELLE DJELFA. PHOTO DE : AUTEUR.	187
FIG 5- 4 : EXEMPLE DE GRAVURE RUPESTRE. SOURCE : DE VILLARET (1995).	187
FIG 5- 5 : DJELFA EN 1882. SOURCE : DE VILLARET : 1995 : 132.	188
FIG 5- 6 : ZONES CLIMATIQUES A DJELFA. SOURCE : ELABORE PAR BOUKARTA A PARTIR DE DTR 3.2 (2004).....	189
FIG 5- 7 : CONSOMMATION DE (A) L'ÉLECTRICITE ET (B) GAZ POUR BATIMENTS RESIDENTIELS (2013). SOURCE : BOUKARTA A PARTIR DES DONNEES DE LA SONELGAZ.	190
FIG 5- 8 : CONSOMMATION DU GAZ ET DE L'ELECTRICITE PAR COMMUNE POUR L'ANNEE 2008.	192

FIG 5- 9 : (A) NOMBRE DE LOGEMENT ET NOMBRE DE CHAMBRE, (B) TAILLE DES MENAGES, TOP AND NOMBRE MOYEN DE CHAMBRE PAR HABITATION, (C) TAUX D'EQUIPEMENT (TV, CUISINIERE, MACHINE A LAVER, REFRIGERATEUR ET CLIMATISEUR). SOURCE : S.BOUKARTA A PARTIR DES DONNEES DE L'ONS (2011).	193
FIG 5- 10 : ACP DE TOUTES LES VARIABLES UTILISEES POUR REGROUPER LES COMMUNES EN FONCTION DE LEURS CARACTERISTIQUES DEMOGRAPHIQUES, DE TYPE DE LOGEMENTS, DE LA DISTRIBUTION DE LA POPULATION, DE LA ZONE CLIMATIQUE ET DE TAUX D'EQUIPEMENT PAR MENAGE ET PAR COMMUNES.	194
FIG 5- 11 : PROJECTION DES COMMUNES DE DJELFA SELON DE L'ACP. SOURCE : S.BOUKARTA	195
FIG 5- 12 : PISTES DE CAUSALITE POTENTIELLE. SOURCE : S.BOUKARTA. HRP>60 : PERSONNE AGEE DE PLUS DE 60 ANS...	201
FIG 5- 13 : EFFET DIRECT STANDARDISE POUR LA CONSOMMATION DU GAZ (KWH/PERSON.M ² .A). SOURCE : S.BOUKARTA	202
FIG 5- 14 : EFFET DIRECT ET INDIRECT DES VARIABLES SUR LA CONSOMMATION DU GAZ. AVEC: TOL: TAILLE DES MENAGES, NI: NIVEAU D'INSTRUCTION, TOP: TAUX D'OCCUPATION DES PIECES, P>60: PERSONNE AGEE PLUS DE 60 ANS, DT: DENSITE, SH: SURFACE D'HABITATION.	204
FIG 5- 15 : EFFET DIRECT STANDARDISE POUR LA CONSOMMATION DE L'ELECTRICITE (KWH/PERSONNE.M ² .A). SOURCE : S.BOUKARTA	205
FIG 5- 16 : EFFET DIRECT, INDIRECT ET TOTAL DES VARIABLES SUR LA CONSOMMATION DE L'ELECTRICITE. AVEC: TOL: TAUX D'OCCUPATION PAR LOGEMENT, NI: NIVEAU D'INSTRUCTION, TOP: TAUX D'OCCUPATION PAR CHAMBRE, P>60: PERSONNE AGEE DE PLUS DE 60 ANS, DT: DENSITE, APP: TAUX D'EQUIPEMENT, SH: SURFACE D'HABITATION SOURCE : S.BOUKARTA	207
FIG 5- 17 : EFFET DIRECT, INDIRECT ET TOTAL DES VARIABLES SUR LA CONSOMMATION DU GAZ ET DE L'ELECTRICITE A L'ECHELLE DES COMMUNES DE LA WILAYA DE DJELFA. AVEC: TOL: TAUX D'OCCUPATION PAR LOGEMENT, NI: NIVEAU D'INSTRUCTION, TOP: TAUX D'OCCUPATION PAR PIECE, P>60: PERSONNE AGEE DE PLUS DE 60 ANS, DT: DENSITE, APP: TAUX D'EQUIPEMENT, SH: SURFACE D'HABITATION. SOURCE : S. BOUKARTA	208
FIG 5- 18 : ETAPES DE LA METHODE ADOPTEE. SOURCE : S.BOUKARTA	211
FIG 5- 19 : VARIATION DE LA TEMPERATURE MOYENNE ENTRE 1930 ET 2004. SOURCES: ADAPTE PAR S.BOUKARTA A PARTIR DE : *, ** DE VILLARET (1995) ET *** METEONORM (V7).	211
FIG 5- 20 : DIGRAME DE SZOKOLAY POUR UN CONFORT ADAPTATIF.SOURCE : CLIMATE CONSULTANT.	213
FIG 5- 21 : AMELIORATIONS POTENTIELLES DU CONFORT HYGROTHERMIQUE PAR LES STRATEGIES PASSIBLES. SOURCE : ADAPTE PAR BOUKARTA A PARTIR DES RESULTATS OBTENUS DE CLIMATE CONSULTANT.	213
FIG 5- 22 : PLAN DU MODELE GENERIQUE ADOPTE. SOURCE : S.BOUKARTA	214
FIG 5- 23 : IMAGE 3 D DU MODELE GENERIQUE.	215
FIG 5- 24 : VARIATION PARAMETRIQUE DES VARIABLES DANS LE MODELE. SOURCE : S.BOUKARTA	216
FIG 5- 25 : OCCUPATION DES ZONES PENDANT LES SAMEDIS.	217
FIG 5- 26 : POTENTIEL D'ECONOMIE D'ENERGIE GENERE PAR LA VARIATION PARAMETRIQUE DE CHAQUE VARIABLE.	223
FIG 5- 27 : POTENTIEL D'ECONOMIE D'ENERGIE GENERE PAR LES MEILLEURES VARIABLES. SOURCE : S.BOUKARTA	223
FIG 5- 28 : GRAPHIQUE DES VALEURS PROPRES.	225
FIG 5- 29 : HYPOTHESES DE PISTE DE CAUSALITE.	226
FIG 5- 30 : PROJECTION DES VARIABLES EN ANALYSE DE COMPOSANTE PRINCIPALE (69.63%).	227
FIG 5- 31 : PROJECTION DES VARIABLES SELON LES FACTEURS 1 ET 3.	227
FIG 5- 32 : PROJECTION DES VARIABLES SELON LES FACTEURS 1 ET 3.	228
FIG 5- 33 : ENSEMBLE DES HYPOTHESES DE PISTES DE CAUSALITE. OU LES PISTES DESSINEES EN COULEUR NOIR SONT EXTRAITE DE L'AXE1, LA COULEUR BLEU DE L'AXE 2 ET LA COULEUR ORANGE DE L'AXE 3.	229
FIG 5- 34 : EFFET DIRECT STANDARDISE DES VARIABLES DANS LE MODELE.	230
FIG 5- 35 : MODELE EXPLICATIF DE LA DEMANDE D'ENERGIE POUR LA CLIMATISATION.	233
FIG 5- 36 : RESULTATS DE LA REGRESSION DES VARIABLES DANS LE MODELE.	236
FIG 5- 37 : EFFET DIRECT, INDIRECT ET TOTAL DES VARIABLES EXPLICATIVES. SOURCE : S.BOUKARTA	238
FIG 5- 38 : COMPARAISON ENTRE LES EFFETS DES VARIABLES EXPLICATIVES A L'ECHELLE DES COMMUNES AVEC EFFET DE L'OCCUPANT, ET A L'ECHELLE DU BATIMENT SANS EFFET DE L'OCCUPANT..	239
FIG 5- 39 . MODELE GENERAL EXPLIQUANT LE POTENTIEL DE MAITRISE DE L'ENERGIE DES FORMES URBAINES	240
FIG 6- 1 : DJELFA EN IMAGE. SOURCE : COMPOSE PAR AUTEUR	242
FIG 6- 2: DEVELOPPEMENT DE LA VILLE DE DJELFA DE 1852 A 1974. SOURCE : PDAU (PHASE 1). SOURCE : BENHOUEH ET AISSAOUI (2016 : 22).	243
FIG 6- 3 : CROISSANCE DE LA VILLE DE DJELFA. SOURCE : BOUKARTA A PARTIR DU PDAU DE LA VILLE DE DJELFA (2009).	244
FIG 6- 4 : CROISSANCE DE LA POPULATION ENTRE 1998 ET 2008. SOURCE : AUTEUR A PARTIR DE DONNEES ONS (2011).	245

FIG 6- 5: TYPES D'HABITATIONS SELON LE CLASSEMENT DE SALAT (2011).....	246
FIG 6- 6: TYPES D'HABITATIONS DANS LA COMMUNE DE DJELFA. SOURCE AUTEUR.	247
FIG 6- 7 : LES 10 RAYONS DE 400 METRES CHOISIS POUR LE CALCUL DES INDICATEURS DE CONNECTIVITE.	248
FIG 6- 8 : INDICES DE CONNECTIVITE DE LA VILLE DE DJELFA. LE NOMBRE CYCLOMATIQUE U SE LIT SUR L'AXE SECONDAIRE A DROITE DU GRAPHE. SOURCE : S.BOUKARTA.....	249
FIG 6- 9 : CALCUL DES DISTANCES DOMICILE-CENTRE-VILLE.....	251
FIG 6- 10 : CALCUL DES DISTANCES DOMICILE-ROUTE DE LA GARE.....	251
FIG 6- 11 : MAILLAGE REPRESENTANT LES DEPLACEMENTS DOMICILE-TRAVAIL. EN VERT, LES HABITATIONS, ET EN JAUNE, LES LIEUX DE TRAVAIL. SOURCE : ENQUETE 2015 REALISEE PAR S.BOUKARTA.....	253
FIG 6- 12 : COMPARAISON ENTRE LES DONNEES DE L'ENQUETE ET LES DONNEES DE L'ONS. LE TAUX DE MOTORISATION SE LIT SUR L'AXE SECONDAIRE.	255
FIG 6- 13: COMPARAISON EN TERMES DE TYPE DE CARBURANT UTILISE DANS LE PARC DES VOITURES ENTRE LES DONNEES DE L'ENQUETE ET CELLE DE L'ONS.....	255
FIG 6- 14: VARIABLES EXPLICATIVES ET LEURS EFFETS POTENTIELS SUR LE CHOIX MODAL.....	258
FIG 6- 15 : PROJECTION DES VARIABLES DANS L'ESPACE DE L'ACP.....	258
FIG 6- 16 : EFFETS DIRECTS ET INDIRECTS POTENTIELLES DES VARIABLES EXPLICATIVES SUR LA PART MODALE DE LA VOITURE.	259
FIG 6- 17 : PROJECTION TRI-AXIALE DES VARIABLES EXPLICATIVE DE LA PART MODALE DES TC ET DE LA MARCHÉ A PIED DANS L'ESPACE ACP.	260
FIG 6- 18 : EFFETS DIRECTS ET INDIRECTS POTENTIELLES DES VARIABLES EXPLICATIVES SUR LA PART MODALE DE LA MARCHÉ A PIED ET LES TC.	261
FIG 6- 19 : MODELE EXPLICATIF DE LA PART MODALE DE LA VOITURE.....	262
FIG 6- 20 : EFFET DES VARIABLES EXPLICATIVES SUR LA PART MODALE DE LA VOITURE PAR UNITE DE MESURE. EN NOIR : LES VARIABLES LIEES A L'OCCUPANT, EN ORANGE : VARIABLES DE L'ENVIRONNEMENT BATI.	266
FIG 6- 21 : EFFETS DIRECTS ENTRE VARIABLES.	266
FIG 6- 22 : EFFET DES VARIABLES EXPLICATIVES SUR LA PART MODALE DES TC PAR UNITE DE MESURE. EN NOIR : LES VARIABLES LIEES A L'OCCUPANT, EN ORANGE : VARIABLES DE L'ENVIRONNEMENT BATI.	269
FIG 6- 23 : EFFETS DIRECTS ENTRE VARIABLES.	269
FIG 6- 24 : EFFET DES VARIABLES EXPLICATIVES SUR LA PART MODALE DE LA MARCHÉ A PIED PAR UNITE DE MESURE. EN NOIR : LES VARIABLES LIEES A L'OCCUPANT, EN ORANGE : VARIABLES DE L'ENVIRONNEMENT BATI.....	272
FIG 6- 25 : EFFET GLOBAL DE L'ENVIRONNEMENT BATI ET DE L'OCCUPANT SUR LA PART MODALE (PM) DE LA MARCHÉ A PIED, DES TC ET DE LA VOITURE.	272
FIG 6- 26 : EFFETS DIRECTS DES VARIABLES EXPLIQUANT LA CONSOMMATION D'ENERGIE GENEREE PAR LA MOBILITE DOMICILE-TRAVAIL.	274
FIG 6- 27 : EFFET DES VARIABLES EXPLICATIVES PAR UNITE DE MESURE SUR LA CONSOMMATION D'ENERGIE POUR LA MOBILITE DOMICILE-TRAVAIL. . EN NOIR : LES VARIABLES LIEES A L'OCCUPANT, EN ORANGE : VARIABLES DE L'ENVIRONNEMENT BATI.....	277
FIG 6- 28 : SYNTHESE DES EFFETS DES VARIABLES EXPLICATIVES SUR LA PART MODALE DE LA VOITURE, DES TC ET DE LA MARCHÉ A PIED.	278
FIG 6- 29 : RAPPEL DU TRIPTYQUE DES DETERMINANTS DE LA FORME URBAINE GENERANT LE PME (VOIR CHAPITRE 5)...	281
FIG 6- 30 : IMPACT TOTAL DE CHAQUE VARIABLE ESTIMEE EN KWH/PERSONNE ANNUELLEMENT.....	284
FIG 6- 31 : DECOUPAGE REGIONAL SELON LA CONSOMMATION DE L'ENERGIE. SOURCE : APRUE (2015).....	285
FIG 6- 32 : PROTOCOLE DE MISE EN ŒUVRE DE LA POLITIQUE ENERGETIQUE.....	286
FIG 7- 1 : PYRAMIDE DES DETERMINANTS THEORIQUE DU TRIPTYQUE FORME URBAINE/OCCUPANT/ENERGIE.	289
FIG 7- 2 : SYNERGIE FORME URBAINE/ENERGIE ET SES DETERMINANTS.....	290
FIG 7- 3 : BATTERIE DES VARIABLES EXPLORÉES. EN GRAS, LES VARIABLES EXPLICATIVES SIGNIFICATIVES.	290
FIG 7- 4 : EXEMPLE D'APPLICATION DES RESULTATS DE LA RECHERCHE A L'ECHELLE DU BATIMENT.	293
FIG 7- 5 : PROCESSUS D'APPLICATION DES DETERMINANTS A L'ECHELLE URBAINE	294

Liste des Tableaux

TABEAU 1- 1 : PREVISION DE L'IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SELON LES SCENARIOS A HORIZON 2100 RELATIF A L'ETAT DE 1980-1999). SOURCE : HTTPS://WWW.IPCC.CH	25
TABEAU 1- 2 : LE POTENTIEL SOLAIRE EN ALGERIE. SOURCE : STAMBOULI : 2011, CDER ALGERIA. HTTP://WWW.CDER.DZ	36
TABEAU 1- 3 : ANALYSE AFOM DE LA POLITIQUE ENERGETIQUE EN ALGERIE.....	48
TABEAU 1- 4 : ETUDES IDENTIFIEES PORTANT SUR L'ENERGIE (SOURCE : S.BOUKARTA).....	51
TABEAU 1- 5: SYNTHSE COMPRENANT LE NOMBRE DES ETUDES RETENUES DANS L'ETAT DE SAVOIR (SOURCE : S.BOUKARTA).....	51
TABEAU 1- 6: ANALYSE AFOM DE L'ETAT DES LIEUX DE LA RECHERCHE PORTANT SUR L'ENERGIE EN ALGERIE.	58
 TABEAU 3- 1 : TERMINOLOGIE UTILISEE POUR DECRIRE L'INFLUENCE DES DETERMINANTS SUR LA CONSOMMATION DE L'ENERGIE.	102
TABEAU 3- 2: ETUDES CHOISIES DANS L'ETAT DE L'ART RELATIF A LA CARACTERISATION ENERGETIQUE DU BATIMENT RESIDENTIEL	103
TABEAU 3- 3: ETUDES D'IMPACT DES FACTEURS AGISSANT A L'ECHELLE MACRO SUR LA DEMANDE ENERGETIQUE, RECENSEMENT ELABORE PAR S. BOUKARTA	105
TABEAU 3- 4: ETUDES D'IMPACT DU TYPE D'HABITATION SUR LA CONSOMMATION DE L'ENERGIE. SOURCE : RECENSEMENT REALISE PAR S. BOUKARTA	108
TABEAU 3- 5 : ETUDES RELATIVES A L'IMPACT DE LA FORME SUR LA CONSOMMATION DE L'ENERGIE. RECENSEMENT REALISE PAR S.BOUKARTA.....	109
TABEAU 3- 6: ETUDES SUR LES EFFETS DES DETERMINANTS DE L'ENVELOPPE SUR LA CONSOMMATION DE L'ENERGIE. RECENSEMENT REALISE PAR S. BOUKARTA.....	113
TABEAU 3- 7 : ETUDES DE L'IMPACT DU REVENU SUR LA CONSOMMATION DE L'ENERGIE. RECENSEMENT REALISE PAR S.BOUKARTA.	114
TABEAU 3- 8 : ETUDES DES EFFETS DES FACTEURS LIES A L'OCCUPATION DE L'HABITATION. RECENSEMENT REALISE PAR S.BOUKARTA.....	115
TABEAU 3- 9 : ETUDES DES EFFETS DE L'AGE SUR LA CONSOMMATION DE L'ENERGIE. RECENSEMENT REALISE PAR S.BOUKARTA.....	117
TABEAU 3- 10 : ETUDES D'IMPACT DE STATUT DE L'OCCUPATION SUR LA CONSOMMATION D'ENERGIE. RECENSEMENT REALISE PAR S.BOUKARTA.	120
TABEAU 3- 11 : ETUDES SUR L'EFFET DU GENRE ET DU STATUT CIVIL SUR LA CONSOMMATION DE L'ENERGIE. RECENSEMENT REALISE PAR S. BOUKARTA.....	121
TABEAU 3- 12 : ETUDES SUR L'EFFET L'EDUCATION, CONSCIENCE ET LA TRAJECTOIRE FAMILIALE SUR LA CONSOMMATION D'ENERGIE. RECENSEMENT REALISE PAR S.BOUKARTA.....	122
TABEAU 3- 13 : ETUDES DES EFFETS DU NOMBRE D'APPAREILS MENAGERS SUR LA CONSOMMATION DE L'ENERGIE. RECENSEMENT PAR S.BOUKARTA.....	124
TABEAU 3- 14 : ETUDES SUR L'EFFET DE L'USAGE DES APPAREILS MENAGERS SUR LA CONSOMMATION DE L'ENERGIE. RECENSEMENT PAR S. BOUKARTA.....	130
TABEAU 3- 15 : SYNTHSE PORTANT SUR L'EFFET DES 77 DETERMINANTS REVUS DANS L'ETAT DE L'ART.....	137
 TABEAU 4- 1 : DESCRIPTIF DES ETUDES CHOISIES POUR L'ETAT DE L'ART. AVEC : W : DEPLACEMENT DOMICILE-TRAVAIL, S : SHOPPING, L : LOISIR, SE : DONNEES SOCIO-ECONOMIQUES, EB : ENVIRONNEMENT BATI. SOURCE : S. BOUKARTA...	140
TABEAU 4-2 : ETUDES SUR L'EFFET DE LA DENSITE SUR LA MOBILITE AUTOMOBILE. RECENSEMENT PAR S. BOUKARTA...	143
TABEAU 4-3 : ETUDES SUR LES EFFETS DE LA DIVERSITE FONCTIONNELLE SUR LES DEPLACEMENTS MOTORISES. RECENSEMENT PAR S. BOUKARTA.....	146
TABEAU 4-4 : CATEGORISATION DES QUARTIERS URBAINS SELON L'INDICE DE MIXITE FONCTIONNELLE. SOURCE : HOEK (2008)	149
TABEAU 4-5 : PRINCIPAUX INDICES DE CONNECTIVITE. BOUKARTA A PARTIR DE (SALAT : 2011, GENRE-GRANDPIERRE : 2013, BUKOME ET KINGOMA : 2002)	150
TABEAU 4-6 : MOYENNE DES DISTANCES PARCOURUES A PIED ET EN VOITURE DANS LES DEUX QUARTIERS. CERVERO ET RADISCHE (1996). TRADUIT PAR BOUKARTA.....	152

TABLEAU 4-7 : IMPACT DES DETERMINANTS DU DESIGN SUR LE DEPLACEMENT MOTORISE. RECENSEMENT PAR S. BOUKARTA.....	152
TABLEAU 4-8 : IMPACT DES DETERMINANTS DU DESIGN SUR LE DEPLACEMENT MOTORISE. RECENSEMENT PAR S. BOUKARTA.....	153
TABLEAU 4-9 : EFFETS DES DETERMINANTS DU REGISTRE « DISTANCE DE DESTINATION ». RECENSEMENT PAR S. BOUKARTA.....	154
TABLEAU 4-10 : EFFET DU COUT DU DEPLACEMENT SUR LA MOBILITE MOTORISEE. RECENSEMENT PAR S. BOUKARTA. ...	155
TABLEAU 4-11 : IMPACT DU REVENU SUR LA MOBILITE. RECENSEMENT PAR S. BOUKARTA	156
TABLEAU 4-12 : CORRELATION DES CARACTERISTIQUES DES MENAGES AVEC LA MOBILITE MOTORISEE. RECENSEMENT PAR S. BOUKARTA	157
TABLEAU 4-13 : IMPACT DE L'AGE SUR LA MOBILITE MOTORISEE.....	158
TABLEAU 4-14 : IMPACT DE L'OCCUPATION DU MENAGE SUR LA MOBILITE. RECENSEMENT S. BOUKARTA.....	160
TABLEAU 4-15 : CORRELATION DU GENRE AVEC LA MOBILITE.	161
TABLEAU 4-16 : IMPACT DE LA POSSESSION DES VOITURES SUR LA MOBILITE. RECENSEMENT PAR S. BOUKARTA	161
TABLEAU 4-17 : IMPACT DE LA POSSESSION DU PERMIS DE CONDUIRE SUR LA MOBILITE. RECENSEMENT PAR S. BOUKARTA	162
TABLEAU 4-18 : IMPACT DU NIVEAU D'EDUCATION ET D'ALTITUDE SUR LA MOBILITE. RECENSEMENT PAR S. BOUKARTA.	163
TABLEAU 4-19 : NOMBRE D'ETUDES RETENUES PAR PAYS.	164
TABLEAU 4-20 : SYNTHSE DES EFFETS DES DETERMINANTS SUR LA DEMANDE DE LA MOBILITE.....	165
TABLEAU 4-21 : POTENTIEL EXPLICATIF DES VARIABLES DE L'ENVIRONNEMENT BATI. EWING ET CERVERO (2010 : 10). TRADUIT PAR AUTEUR.....	166
TABLEAU 4-22 : CRITERES DES INDICATEURS SMART. SOURCE : ADAPTE D'OSTERMEIER ET AL (2015).....	169
TABLEAU 4-23 : ADAPTATION DES INDICATEURS SELON LE FILTRE DU CONTEXTE ET L'EXIGENCE DES INDICATEURS SMART.	170
TABLEAU 4-24 : INDICATEURS MACROS RETENUS POUR LE CONTEXTE DE NOTRE ETUDE.....	172
TABLEAU 4-25 : INDICATEURS RETENUS LIES A LA FORME.	172
TABLEAU 4-26 : INDICATEURS RETENUS LIES A L'ENVELOPPE DES HABITATIONS.	173
TABLEAU 4-27 : INDICATEURS RETENUS LIES A L'OCCUPATION DES HABITATIONS.....	173
TABLEAU 4-28 : LES INDICATEURS RETENUS LIES A NATURE D'OCCUPATION DES HABITATIONS.	173
TABLEAU 4-29 : APPAREILS MENAGERS RETENU DE L'ETAT DE L'ART.	174
TABLEAU 4-30 : DENSITES RETENUES DANS L'ANALYSE.....	174
TABLEAU 4-31 : INDICATEUR RETENUS INTERPRETANT LA DIVERSITE.....	174
TABLEAU 4-32 : INDICATEURS RETENUS INTERPRETANT LA DISTANCE AU TC.....	174
TABLEAU 4-33 : INDICATEURS RETENUS INTERPRETANT LA DISTANCE DE LA DESTINATION.	175
TABLEAU 4-34 : INDICATEURS RETENUS LIES AU REGISTRE DU COUT DE DEPLACEMENT	175
TABLEAU 4-35 : NOMBRE DES VOITURES.....	175
TABLEAU 4-36 : INDICATEURS RETENUS LIES AU REGISTRE DU DESIGN	175
TABLEAU 4-37 : INDICATEURS INFLUANT LE VOLUME DE MOBILITE ET LA CONSOMMATION D'ENERGIE DES BATIMENTS.	176
TABLEAU 4-38 : INDICATEURS POTENTIELS POUVANT EXPLIQUER LA CONSOMMATION D'ENERGIE DUE AUX BATIMENTS.	176
TABLEAU 4-39 : INDICATEURS POTENTIELS POUVANT EXPLIQUER LA CONSOMMATION D'ENERGIE DUE A LA MOBILITE	177
TABLEAU 4-40 : INDICATEURS POTENTIELS POUVANT EXPLIQUER LA CONSOMMATION D'ENERGIE DUE AUX BATIMENTS ET A LA MOBILITE.	177
TABLEAU 5- 1 : VALEUR MOYENNE, ECART TYPE ET TESTS DE NORMALITE DES VARIABLES. SOURCE : S. BOUKARTA.....	191
TABLEAU 5- 2 : SOMMAIRE DU MODELE DE GAZ ET D'ELECTRICITE. SOURCE : S. BOUKARTA.....	191
TABLEAU 5- 3 : TEST DE NORMALITE DES DEUX MODELES. SOURCE : S. BOUKARTA	191
TABLEAU 5- 4 : CARACTERISTIQUES DES PROFILS ENERGETIQUES IDENTITES A PARTIR DE L'ACP. SOURCE : S. BOUKARTA..	196
TABLEAU 5- 5 : CORRELATIONS BI-VARIEES ENTRE LA CONSOMMATION D'ENERGIE ET LES VARIABLES EXPLICATIVES LIEES AUX CARACTERISTIQUES DES MENAGES ET DES HABITATIONS, A LA DENSITE ET AUX TAUX D'EQUIPEMENT. SOURCE : S. BOUKARTA.....	197
TABLEAU 5- 6 : INDICES D'AJUSTEMENT DU MODELE DE LA CONSOMMATION DU GAZ	202
TABLEAU 5- 7 : EFFETS DIRECTS ENTRE VARIABLES. SOURCE : S. BOUKARTA	202
TABLEAU 5- 8 : EFFETS DIRECTS, INDIRECTS ET TOTAUX DES VARIABLES. SOURCE. S. BOUKARTA	203
TABLEAU 5- 9 : MODÈLE D'ÉLECTRICITÉ.....	205

TABEAU 5- 10 : PISTE DE CAUSALITE : IMPACT DIRECT DES VARIABLES EXPLICATIVES. SOURCE : S.BOUKARTA	205
TABEAU 5- 11 : EFFET DIRECT, INDIRECT ET TOTAL SUR LA CONSOMMATION DE L'ELECTRICITE.....	205
TABEAU 5- 12 : LES CONDITIONS CLIMATIQUES DE LA VILLE DE DJELFA. SOURCE : * METEONORM ET ** CLIMATE CONSULTANT A PARTIR DES DONNEES DE METEONORM.....	212
TABEAU 5- 13 : VARIABLES CONSIDEREES DANS LE MODELE	215
TABEAU 5- 14 : ELEMENTS INVARIABLES DU MODELE. SOURCE : S.BOUKARTA	217
TABEAU 5- 15 : OCCUPATION MAXIMALE PAR ZONE ET AFFECTATION DU BESOIN DE CHAUFFAGE ET CLIMATISATION. SOURCE : S.BOUKARTA	217
TABEAU 5- 16 : PROTOCOLE DE SIMULATION ET RESULTAT DES SIMULATIONS. SOURCE : S.BOUKARTA	218
TABEAU 5- 17 : AJUSTEMENT DU MODELE.....	220
TABEAU 5- 18 : DISTANCE DE COOK AVANT ET APRES L'AJUSTEMENT.	220
TABEAU 5- 19 : SOMMAIRE DU MODELE APRES AJUSTEMENT DE L'ECHANTILLON.....	220
TABEAU 5- 20 : SOMMAIRE DU MODELE LINEAIRE GENERALISE. SOURCE S.BOUKARTA.....	221
TABEAU 5- 21 : DESCRIPTIF DES DONNEES	223
TABEAU 5- 22 : CORRELATION BI-VARIEE ENTRE DEMANDE ENERGETIQUE ET VARIABLES EXPLICATIVES.	224
TABEAU 5- 23 : HYPOTHESES DE CAUSALITE ENTRE VARIABLES. SOURCE : S.BOUKARTA.....	224
TABEAU 5- 24 : COMMUNALITES DES VARIABLES.	225
TABEAU 5- 25 : COMMUNALITES DES VARIABLES PAR FACTEUR.	226
TABEAU 5- 26 : MATRICE PRESENTANT L'EFFET DE VARIATION DE CHAQUE VARIABLE SUR LA DEMANDE ENERGETIQUE. AVEC : TT : DEMANDE TOTALE D'ENERGIE ; CL : DEMANDE POUR LA CLIMATISATION ; CH : DEMANDE POUR LE CHAUFFAGE. LES VARIABLES EN GRAS INDIQUENT LES VARIABLES GENERANT PLUS DE DEMANDE ENERGETIQUE POUR LES TROIS DEMANDES D'ENERGIE. LE ROUGE PRESENTE LES VARIABLES GENERANT PLUS DE CHAUFFAGE ET LE BLEU INDIQUE LA TENDANCE DES VARIABLES GENERANT PLUS DE CLIMATISATION.	228
TABEAU 5- 27 : INDICES D'AJUSTEMENT DU MODELE DE LA CONSOMMATION DU CHAUFFAGE	229
TABEAU 5- 28 : EFFETS DIRECTS ENTRE VARIABLES.....	230
TABEAU 5- 29 : EFFETS STANDARDISES DIRECT, INDIRECT ET TOTAL DES VARIABLES SUR LA DEMANDE ENERGETIQUE....	230
TABEAU 5- 30 : INDICES D'AJUSTEMENT DU MODELE DE LA DEMANDE DUE A LA CLIMATISATION	232
TABEAU 5- 31 : EFFETS DIRECTS ENTRE VARIABLES.....	232
TABEAU 5- 32 : EFFETS STANDARDISES DIRECT, INDIRECT ET TOTAL DES VARIABLES SUR LA DEMANDE ENERGETIQUE DUE A LA CLIMATISATION.	233
TABEAU 5- 33 : INDICES D'AJUSTEMENT DU MODELE DE LA DEMANDE ENERGETIQUE POUR LE CHAUFFAGE ET LA CLIMATISATION	235
TABEAU 5- 34 : EFFETS DIRECTS GLOBAUX.....	235
TABEAU 5- 35 : LES EFFETS DIRECT, INDIRECT ET TOTAL DES VARIABLES EXPLICATIVE DE LA DEMANDE ENERGETIQUE TOTALE.	235
TABEAU 6- 1 : RESULTATS DES CALCULS DES INDICES DE CONNECTIVITE.....	248
TABEAU 6- 2 : DESCRIPTIF DES VARIABLES DE L'ENQUETE SUR LA MOBILITE RESIDENTIELLE. SOURCE : S.BOUKARTA.....	254
TABEAU 6- 3 : RESULTATS DE L'ANALYSE BIVARIEE ENTRE LES VARIABLES EXPLICATIVES ET LES PARTS MODALES DES MOYENS DE DEPLACEMENT.	256
TABEAU 6- 4 : PROJECTION DES VARIABLES DANS L'ESPACE DE L'ACP	258
TABEAU 6- 5 : PROJECTION DES VARIABLES EXPLICATIVES DE LA PART MODALE DE LA MARCHE A PIED ET DES TC.	260
TABEAU 6- 6 : INDICES D'AJUSTEMENT DU MODELE DE LA PART MODALE DE LA VOITURE.....	261
TABEAU 6- 7 : EFFETS DIRECTS ENTRE VARIABLES.....	262
TABEAU 6- 8 : EFFETS DIRECTS ET INDIRECT DES VARIABLES EXPLICATIVES SUR LA PART MODALE DE LA VOITURE.	263
TABEAU 6- 9 : INDICES D'AJUSTEMENT DU MODELE DE LA CONSOMMATION DU GAZ	266
TABEAU 6- 10 : EFFETS DIRECTS ET INDIRECT DES VARIABLES EXPLICATIVES SUR LA PART MODALE DES TC.....	267
TABEAU 6- 11 : EFFETS DIRECTS ET INDIRECTS DES VARIABLES EXPLICATIVES SUR LA PART MODALE DES TC.....	267
TABEAU 6- 12 : INDICES D'AJUSTEMENT DU MODELE.....	269
TABEAU 6- 13 : EFFETS DIRECTS ET INDIRECT DES VARIABLES EXPLICATIVES SUR LA PART MODALE DE LA MARCHE A PIED.	270
TABEAU 6- 14 : EFFETS DIRECTS ET INDIRECTS DE TOUTES LES VARIABLES EXPLICATIVES DANS LE MODELE DE LA MARCHE A PIED.	270
TABEAU 6- 15 : CONVERSION DES CARBURANTS AU KWH. ADAPTE AU CONTEXTE LOCAL PAR S. BOUKARTA A PARTIR DE MARIQUE ET REITER (2012).	273

TABLEAU 6- 16 : DESCRIPTIF DES DONNEES DE CONSOMMATION D'ENERGIE GENEREE PAR LE DEPLACEMENT DOMICILE-TRAVAIL.	274
TABLEAU 6- 17 : INDICES D'AJUSTEMENT DU MODELE DE LA CONSOMMATION D'ENERGIE DUE A LA MOBILITE.	274
TABLEAU 6- 18 : EFFETS DIRECTS ENTRE VARIABLES.....	275
TABLEAU 6- 19 : EFFETS DIRECTS ET INDIRECTS DES VARIABLES EXPLICATIVES DE LA CONSOMMATION D'ENERGIE DUE A LA MOBILITE.	275
TABLEAU 7- 1 : GAINS ET PERTES DU POTENTIEL DE MAITRISE DE L'ENERGIE DE LA FU A DJELFA. SYNTHESE DES RESULTATS.	292
TABLEAU 7- 2 : EXEMPLE D'APPLICATION DES RESULTATS DE LA RECHERCHE A L'ECHELLE URBAINE.	294

ACL : Agglomération chef lieu de la commune
ACP : L'analyse en composante principale
ADEME : l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
ANDI : Agence Nationale de Développement et de l'Investissement
AS : Agglomération secondaire
BOE: Baril équivalent pétrol
BTP : Bâtiment et travaux publics
CDD : Cooling Degree Day
CES : Coefficient d'Emprise au Sol
CFI : *Comparative Fit Index*
CIME : Conseil intersectoriel de la maitrise de l'énergie.
CNERIB : Le Centre National d'Études et de Recherches Intégrées du Bâtiment.
COS : Coefficient d'occupation des sols.
CREG : Commission de Régulation de l'Electricité et du Gaz
CSP : Capteur solaire.
CTBAT : Calcul thermique spécifique au bâtiment.
DOE : Design Of Experiment
DPV : Distances Parcourues en Voiture
DT : Densité
EnR : des énergies renouvelables
FNME : Fond National Pour la maitrise de l'Energie
GES : gaz à effet de serre
GIZ : *Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit* (la société pour la coopération internationale).
GNC : Gaz naturel carburant
GPL : Le gaz de pétrole liquéfié
HDD : *Heating degree day*
HC: Habitat collectif
HI: Habitat individuel
ICU : Ilot de Chaleur Urbain
IDH : Indice de développement humain
IEVP : Instrument Européen de Voisinage et de Partenariat
IDH : Indice de Développement Humain
IRE : Inventaire de référence des émissions
IPE : Indice de performance énergétique
LBC : Lampe à basse consommation
MEDENER : Association méditerranéenne des agences nationales de la maîtrise de l'énergie
MES : Modélisation par équations structurelles
MOS: Mode d'occupation des sols
MTEP : Million tonne équivalent pétrole
NAMA : Nationnaly Appropriate Mitigation Action
NEAL : *New Energy Algeria*
NEAL: Group New Energy Algeria
NFI : *Normal fit index*
PAED : Plan d'action en faveur de l'énergie durable
PATW : Plan d'aménagement du territoire de wilaya.

PIB : Produit Intérieur Brut
PME : Potentiel de maîtrise de l'énergie
PNME : Plan National De Maîtrise De L'énergie
PNUE : Programme des Nations Unies pour l'Environnement
PPP : *Purchasing Power Parity* (Parité de pouvoir d'achat)
RGPH : Recensement Général de la Population et de l'Habitat
RMSE : *Root Mean Square Error*
SH: Surface d'Habitation
SIG : Système D'information Géographique
CREG: Commission de Régulation de l'Électricité et du Gaz
SMART: Specific, Measurable, Achievable, Relevant and Time-bound
SNAT : Schema National D'aménagement Du Territoire
SVF : *Sky view factor*
TC : Transport En Commun
TEP : Tonne Equivalent Pétrole
TOL : Taux D'occupation Par Logement
TOP: Taux Occupation Par Pièce
UDES : Unité de Développement des Équipements Solaires
VMT : *Vehicle Miles Traveled*
VHT : *Vehicle Hours Traveled*
ZC : Zone Climatique
ZE : La Zone Eparsse

Annexes

Annexe A : Les axes d'application du PNME de 2007

Annexe B : Recensement des recherches portant sur la maîtrise de l'énergie en Algérie.

Annexe C : Caractéristiques thermiques des matériaux

Annexe D : Complément des résultats relatif aux analyses en composante principale

Annexe E : Calcul des densités bâties

Annexe F : Questionnaire.

Annexe G : Glossaire des termes utilisés.

Annexe H : Etat des lieux de la recherche en énergétique du bâtiment et urbaine en Algérie.

Annexe A : Les axes d'application du PNME de 2007

Axe 1 – Le résidentiel (les ménages) : Cinq programmes spécifiques ont été identifiés.							
Axe d'intervention	Démarrage opérationnel	Taux d'aide (%)	Apport FNME (MDA)	Investissements générés (MDA)	Économie d'énergie (TEP)	Valorisation à l'export (MDA)	Tonnes CO ₂ évitées
Éclairage performant	2006	83	400	468	55900	1453	167700
Froid performant	2008	80	80	100	6020	157	18060
Eau chaude solaire	2007	45	20	44	1032	27	3095
Logements HPE	2007	80	105	105	5160	134	15480
Rénovation thermique	2007	80	20	25	817	21	2451
			625	742	68929	1792	206786
Axe 2 – Les services : Cinq programmes spécifiques ont été identifiés.							
Axe d'intervention	Démarrage opérationnel	Taux d'aide (%)	Apport FNME (MDA)	Investissements générés (MDA)	Économie d'énergie (TEP)	Valorisation à l'export (MDA)	Tonnes CO ₂ évitées
Éclairage performant	2006	10	4	40	550	15	16512
Optimisation émetteurs climatisation/chauffage	2006	50	47	375	748	20	2245
Eau chaude solaire	2007	50	70	60	4120	107	12384
Affichage performant bâtiments	2006	90	2,7	3	1980	52	593
Projets HPE bâtiments	2007	65	90	1400	1376	36	4128
			214	1878	8774	230	35862
Axe 3 – Les collectivités locales : Six programmes spécifiques ont été identifiés.							
Axe d'intervention	Démarrage opérationnel	Taux d'aide (%)	Apport FNME (MDA)	Investissements générés (MDA)	Économie d'énergie (TEP)	Valorisation à l'export (MDA)	Tonnes CO ₂ évitées
Optimisation des émetteurs de chauffage et climatisation	2006	5	19	150	748	20	2245
Éclairage public performant	2007	5	55	220	1376	36	4128
Éclairage performant	2006	10	4	40	1204	32	3612
Affichage performance énergétique bâtiments	2006	90	2,7	3	125	3	374
Organisation transport urbain	2007	70	4,8	18	–	–	–
Aide à la décision	2006	70	21	20	43	1129	–
			107	451	3496	92	10448
Axe 4 – L'industrie : Quatre programmes spécifiques ont été identifiés.							
Axe d'intervention	Démarrage opérationnel	Taux d'aide (%)	Apport FNME (MDA)	Investissements générés (MDA)	Économie d'énergie (TEP)	Valorisation à l'export (MDA)	Tonnes CO ₂ évitées
Force motrice	2006	20	56	280	–	–	–
Cogénération	2007	10	84	840	–	–	–
Optimisation des process thermiques	2006	30	142	485	–	–	–
Opérations ciblées sur les usages	2007	30	21	50	–	–	–
Aide à la décision	2006	70	135,1	193	–	–	–
			438,1	1848	–	–	–
Axe 5 – Les transports : Trois programmes spécifiques ont été identifiés.							
Axe d'intervention	Démarrage opérationnel	Taux d'aide (%)	Apport FNME (MDA)	Investissements générés (MDA)	Économie d'énergie (TEP)	Valorisation à l'export (MDA)	Tonnes CO ₂ évitées
GPLc dans les véhicules privés	2006	25	90	260	36000	936	108000
GPLc/GNC dans les véhicules privés et utilitaires	2006	25	18	52	9000	234	27000
Bus et cars propres	2006	50	750	2250 à 7762	131000	3406	81000
			858	3450 à 8932	176000	4576	216000
Axe 6 – L'agriculture : Un programme spécifique a été identifié il concerne le pompage et l'irrigation par énergies renouvelables.							
Axe d'intervention	Démarrage opérationnel	Taux d'aide (%)	Apport FNME (MDA)	Investissements générés (MDA)	Économies électriques (KWh)	Économies fioul/diesel (KWh)	
Pompage et irrigation énergies renouvelables	2008	40	38	58	3011250	3011250	

Annexe B : Recensement des recherches portant sur la maîtrise de l'énergie en Algérie.

Bâtiments	
Auteur	Titre de la recherche
Kamal Mohammedi	Codes de Calculs pour Centrales Solaires Thermiques CSP
Belahya, H., Boubekri, A., & Kriker, A. (2017, August)	A Fast Evaluation Method for Energy Building Consumption Based on the Design of Experiments
Maammeur, H., Hamidat, A., Loukarfi, L., Missoum, M., Abdeladim, K., & Nacer, T. (2017).	Performance investigation of grid-connected PV systems for family farms: Case study of North-West of Algeria
Rabehi, R., Chaker, A., Aouachria, Z., & Tingzhen, M. (2017).	CFD Analysis on the Performance of a Solar Chimney Power Plant System: Case Study in Algeria
Laïb, I., Hamidat, A., Haddadi, M., Ramzan, N., & Olabi, A. G. (2018).	Study and Simulation of the Energy Performances of a Grid-Connected PV System Supplying a Residential House in North of Algeria
Djamel, Z., & Noureddine, Z. (2017)	The Impact of Window Configuration on the Overall Building Energy Consumption under Specific Climate Conditions
Kedissa, C., Outtas, S., & Belarbi, R. (2016)	The impact of height/width ratio on the microclimate and thermal comfort levels of urban courtyards
Benmouiza, K., Chemseddine, A., & Cheknane, A. (2017).	Minimisation of energy consumption of a bioclimatic building based on heat balance study and stand-alone PV system sizing using LLP
Ali-Toudert, F., & Weidhaus, J. (2017).	Numerical assessment and optimization of a low-energy residential building for Mediterranean and Saharan climates using a pilot project in Algeria
Missoum, M., Hamidat, A., Imessad, K., Bensalem, S., & Khoudja, A. (2016).	Impact of a grid-connected PV system application in a bioclimatic house toward the zero energy status in the north of Algeria
Kaoula, D., & Bouchair, A. (2017)	Evaluation of environmental impacts of hotel buildings having different envelopes using a life cycle analysis approach
Belkacem, N., Loukarfi, L., Missoum, M., Naji, H., Khelil, A., & Braikia, M. (2017)	Assessment of energy and environmental performances of a bioclimatic dwelling in Algeria's North
Ghedamsi, R., Settou, N., Gouareh, A., Khamouli, A., Saifi, N., Recioui, B., & Dokkar, B. (2016).	Modeling and forecasting energy consumption for residential buildings in Algeria using bottom-up approach
SofBahria, S., Amirat, M., Hamidat, A., El Ganaoui, M., & Slimani, M. E. A. (2016)	Parametric study of solar heating and cooling systems in different climates of Algeria – A comparison between conventional and high-energy-performance buildings
Naïma, F., Mébirika, B., Belkacem, D., & Claude-Alain, R. (2016)	The Traditional House with Horizontal Opening: A Trend towards Zero-energy House in the Hot, Dry Climates
Derradji, L., Imessad, K., Amara, M., & Errebai, F. B. (2017)	A study on residential energy requirement and the effect of the glazing on the optimum insulation thickness
Bensalem, S., Imessad, K., Hamidat, A., & Missoum, M. (2016).	Active solar heating system for residential building in Algeria : An energetic economic and environmental investigation
Semache, A., Hamidat, A., & Benchatti, A. (2015)	Impact study of the solar energy on the energy performances of the rural housing in Algeria

Medjelekh, D., Ulmet, L., Abdou, S., & Dubois, F. (2016)	A field study of thermal and hygric inertia and its effects on indoor thermal comfort: Characterization of travertine stone envelope
Kazeoui, H., Belarbi, R., Tahakourt, A., & Ait-Mokhtar, A. (2016)	Energy performance evaluation of direct solar floor in traditional and modern buildings
Laoufi, L., Senhadji, Y., & Benosman, A. S. (2016)	A Study of Natural Pozzolan Mortars Exposed to Sulfate as Energy Efficient Building Material
Boukli Hacene, M. A., Chabane Sari, N. E., Benzair, A., & Iznassni, A. (2016)	Optimization of integrated building solutions: efficiency of a heating and cooling ground source heat pump
Kharchi, R., Hamid, A. E. K., Chabane, M., Imessad, K., & Mecheri, S. S	Analysis of the energy needs of a tourist complex after renovation
Ferhat, S., & Boutrahi, M. (2014)	The residential built environment and its energy behaviour- case study of the building number 3, Aero-Habitat district, Algiers
Kaoutar Jraida, Farchi Abdelmajid, Mounir Badia	International Journal of Modern Embedded System (IJMES) Analysis of annual Energy requirements for residential building in Maghreb Context
Brima, A., Serir, L., Mesmoudi, K., & Guettala, S. (2015).	A study on the thermal comfort inside a flat under arid climate zone in Algeria
Selka, G., Korti, A. N., Abboudi, S., & Saim, R. (2014)	Numerical study of thermal behaviour of building walls containing a phase change material
Missoum, M., Hamidat, A., Loukarfi, L., & Abdeladim, K. (2014)	Impact of rural housing energy performance improvement on the energy balance in the North-West of Algeria
Ghedamsi, R., Settou, N., Saifi, N., & Dokkar, B. (2014).	Contribution on Buildings Design with Low Consumption of Energy Incorporated PCMs
Imessad, K., Derradji, L., Messaoudene, N. A., Mokhtari, F., Chenak, A., & Kharchi, R. (2014)	Heating and Cooling Energy Consumption of Dwelling located in Algeria
Bouguessa, H., Saadia, N., Touileb, N., & Makhoulf, A. (2014).	Multimodal Structure for the Management of Energies in a Residential Home
Hamdani, M., Bekkouche, S. M. A., Benouaz, T., & Cherier, M. K. (2012).	Study and Effect of Orientation Two Room of Buildings Located in Ghardaia, Algeria
Bekkouche, S. M. E. A., Benouaz, T., Cherier, M. K., Hamdani, M., Yaiche, M. R., & Khanniche, R. (2013)	Influence of building orientation on internal temperature in saharian climates, building located in ghardaia region (algeria)
Hacene, M. A., & Sari, N. E. (2013).	The various aspects of an ecological house
Boukli Hacene, M. A., & Chabane Sari, N. E. (2012).	Economic, Energy and Environmental Comparison Between an Ecological and Conventional House
Orehounig, K., & Mahdavi, A. (2011).	Energy performance of traditional bath buildings
Kazeoui, H., Tahakourt, A., Ait-Mokhtar, A., & Belarbi, R. (1993).	Coupled utilization of solar energy and local materials in buildings
Medjelekh, D., Abdou, S., & El Ganaoui, M. (2010).	Impact of the Thermal Inertia of Material on the Hygrothermal Comfort of Building
Fezzioui, N., Droui, B., Benyamine, M., & Larbi, S. (2008).	Influence des caractéristiques dynamiques de l'enveloppe d'un bâtiment sur le confort thermique au sud Algérien
Amirat, M., El Hassar, K., & Mohamed, S. (2004).	Energy savings in the existing buildings in Algeria
Ahmed Mansouri	The Role of the Energy-Conscious Based Building Renovation in the Development of the Sahara Housing Estates in Algeria
Samira debache	thermal simulation in residential building within computer aided architectural design: integrated model
Bouchair, A. (1994).	Solar chimney for promoting cooling and ventilation in

	Southern Algeria
Gomri, r., & boulkamh, m. (2010).	thermal solar energy systems for space heating of buildings
Youcef, m. L., belhamel, m., boukadoum, f., youcef, s. L., bertolo, l., caccavelli, d., & millet, j. R. (1996)	the basis of future thermal standard of buildings in algeria
Kacher, s., & zermout, h. (2016)	environmental implication of the algerian traditional house
Sami-mecheri, s., semmar, d., & hamid, a. (2015).	determination of the energetic needs of low energy housing and integration of a solar water heating installation located in algeria
Belkacem, n., loukarfi, l., khelil, a., naji, h., braikia, m., & missoum, m. (2015)	simulation des charges thermiques dans une habitation pilote à plancher réversible
Belkacem, n., loukarfi, l., naji, h., & missoum, m.	contribution to summer comfort by underfloor cooling in a bioclimatic ecohouse model
Abdelhakeem, m., aminu, d. Y., & kandar, m. Z. (2015)	investigating use of daylight in a typical algerian public classroom typology
Khoukhi, m., & fezzoui, n. (2012)	thermal comfort design of traditional houses in hot dry region of algeria
Fouzia meliouhk. Tabet aoulk. Tabet Aoul	Vernacular versus social housing in the algerian sahara; women's quest for comfort
Ghedamsi, r., settou, n., saifi, n., & dokkar, b. (2014)	contribution on buildings design with low consumption of energy incorporated pcms
Messaoudene, n. A., imessad, k., & belhamel, m. (2010)	effect of ventilation on thermal comfort measured by dts-application to a typical home in algerian conditions
Hami, k., draoui, b., hami, o., & belloufa, l. (2010)	modeling of a heating passive system
Ali-toudert, f., & mayer, h. (2006)	numerical study on the effects of aspect ratio and orientation on an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate
Belayat, e. K., nicol, j. F., & wilson, m	thermal comfort in algeria-preliminary results of a field study
Zemmouri, n., & schiler, m. E. (2005)	modelling energy efficient windows in hot arid zones
Bouchair, a., & dupagne, a. (2003)	building traditions of mzab facing the challenges of re-shaping of its built form and society
Cheikh, h. B., & bouchair, a. (2004).	passive cooling by evapo-reflective roof for hot dry climates
Cheikh, h. B., & bouchair, a. (2008)	experimental studies of a passive cooling roof in hot arid areas
Bouchair, a. (2009, february)	a parametric study of the thermal insulation of external cavity wall constructed using fired clay hollow bricks
Semahi, s., & djebri, b. (2013).	la conception des logements à haute performance énergétique (hpe) en algérie : proposition d'un outil d'aide à la conception dans les zones arides et semi-arides
Cheikh, h. B., & bouchair, a. (2008)	Experimental studies of a passive cooling roof in hot arid areas
Bougdah, H. (2016).	The courtyard house: can a sustainable future learn from a context relevant past
Fezzoui, n., droui, b., benyamine, m., & larbi, s. (2008)	influence des caractéristiques dynamiques de l'enveloppe d'un bâtiment sur le confort thermique au sud algérien
Fezzoui, n., benyamine, m., tadj, n., draoui, b., & larbi, s. (2012).	performance énergétique d'une maison à patio dans le contexte maghrébin (algérie, maroc, tunisie et libye)
Hamouda, c., & malek, a. (2006).	analyse théorique et expérimentale de la consommation d'énergie d'une habitation individuelle

	dans la ville de batna
El hassar, s. M. K., amirat, m., silhadi, k., souici, m., & sakhraoui, s. (2002).	réglementation thermique algérienne des bâtiments: contribution à la définition de nouveaux coefficients réglementaires
Amara, s., benmoussat, a., benyoucef, b., & nordell, b. (2007, august).	évaluation des besoins énergétiques de chauffage et climatisation d'un bâtiment pour le site de tlemcen
Kadri11, n., & mokhtari22, a. (2011).	contribution à l'étude de réhabilitation thermique de l'enveloppe du bâtiment
Belakehal, A., & AOUL, K. T. (2003	L'éclairage naturel dans le bâtiment. Référence aux milieux arides à climat chaud et sec
Tabouri, h., tachougaf, k., & taibaoui, l. (2017)	essai d'évaluation de l'efficacité énergétique passive d'un immeuble de rapport à alger
Benoudjafer, i., ghomari, f., & mokhtari, a. (2012)	étude comparative relative à l'efficacité énergétique de deux appartements situés à bēchar, algérie
Sami-mécheri, s., semmar, d., & hamid, a. (2012)	efficacité énergétique des logements à haute performance énergétique, 'hpe': application au site de bēchar
Berghout, b., forgues, d., & monfet, d. (2014)	simulation du confort thermique intérieur pour l'orientation d'un bâtiment collectif à biskra, algérie
Semache, a., hamidat, a., benchatti, a., bahria, s., & imessad, k.	performances de l'efficacité énergétique et l'énergie pv dans le bâtiment résidentiel: cas de trois zones en algérie
Hami, k., draoui, b., hami, o., & imine, o. (2011)	modélisation de l'effet énergétique de l'enveloppe d'un bâtiment sur l'ambiance intérieur
Ould-henia, a. (2003).	Choix climatiques et construction. Zones arides et semi arides. Maison à cour de bou-saada
Chelghoum, z., & belhamri, a. (2001)	Habitat à bas profil énergétique
Magri, elouadjeri, sahar (2006)	Rapport entre éclairage naturel et confort thermique dans les milieux à climat chaud aride
Khelifi lamia (2006)	Contribution méthodologique à la conception bioclimatique en architecture
Baali, s. Doctoral dissertation, ecole polytechnique d'architecture et d'urbanisme-hocine aït ahmed (2012)	Climatisation passive en climat chaud et aride
CHOHRA, A. H. Doctoral dissertation, Ecole Polytechnique d'architecture et d'Urbanisme-Hocine Aït Ahmed (2013)	Etude empirique de la logique de manipulation des données climatiques dans l'activité de la conception architecturale
Seoud, s. (2012). Doctoral dissertation, ecole polytechnique d'architecture et d'urbanisme-hocine aït ahmed)	Audit énergétique de bâtiments tertiaires
Chabane lila (2010)	Contribution à la définition d'une procédure d'audit énergétique dans l'habitat en algérie
Bencherif, m., & chaouche, s. (2013)	La maison urbaine a patio, réponse architecturale aux contraintes climatiques du milieu aride chaud
Hamouda, c., & malek, a. (2006)	Analyse théorique et expérimentale de la consommation d'énergie d'une habitation individuelle dans la ville de batna
Djelloul, a., draoui, b., & moummi, n.	Simulation du comportement énergétique des bâtiments résidentiels au sud algérien
Benharkat, s., & rouag-saffidine, d. (2016).	Approche adaptative du confort thermique dans les espaces d'enseignement universitaire à constantine (algérie)
Ali-toudert, f., & mayer, h. (2006).	Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate
Mouffok, m., zemmouri, n., aidaoui, l., lasbet, y., & de	Effects of building morphologies on co2 air pollution

herde, a. (2017).	case study: the vernacular urban fabric, city of ghardaïa (algeria)
Djamel, z., & noureddine, z. (2017).	The impact of window configuration on the overall building energy consumption under specific climate conditions
Zeroual daoudfatiha bourbiaatef ahrizfezzai Soufiane (2009)	Impact of form on the energy performance of buildings - Case of hot and dry climates - Contribution to sustainable buildings
Ali-toudert, f., & weidhaus, j. (2017)	Numerical assessment and optimization of a low-energy residential building for mediterranean and saharan climates using a pilot project in algeria
Bekkouche, s. M. A., benouaz, t., hamdani, m., cherier, m. K., yaiche, m. R., & benamrane, n. (2017).	Diagnosis and comprehensive quantification of energy needs for existing residential buildings under sahara weather conditions
Moussaoui, f., cherrared, m., kacimi, m. A., & belarbi, r. (2017).	A genetic algorithm to optimize consistency ratio in ahp method for energy performance assessment of residential buildings – algerian case study
Mokhtari, f., loukarfi, l., chikhi, m., imessad, k., & ait messaoudene, n. (2017).	A passive wall design to minimize building temperature swings for algerian saharan climate
Madani, s., & tacherifte, a. (2010).	Urban dwelling and sustainability in Algeria
Djebbar, k. E. B., salem, s., & mokhtari, a. (2018).	A multi-objective optimization approach of housing in algeria. A step towards sustainability
Safa, d., noureddine, z., & yacine, s. M. (2013).	A study of optimization of the light shelf system in hot and arid zones
Bekkouche, s. M. E. A., benouaz, t., cherier, m. K., hamdani, m., yaiche, m. R., & khanniche, r. (2013).	Influence of building orientation on internal temperature in saharan climates, building located in ghardaïa region (Algeria)
Khoukhi, m., & fezzoui, n. (2012).	Thermal comfort design of traditional houses in hot dry region of algeria
POLITIQUE	
Ahmed, i., said, b., & hassan, s. M.	Energy transition in algeria's desert: current state and future perspectives
Saiah, s. B. D., & stambouli, a. B. (2017)	Prospective analysis for a long-term optimal energy mix planning in algeria: towards high electricity generation security in 2062
Amri, F. (2017).	The relationship amongst energy consumption (renewable and non-renewable), and GDP in Algeria
Dahbi, m., benatallah, a., sellam, m., & deenai, b. (2017).	analysis of wind power potential and electric energy in the algerian sahara regions
Hassaine, l., & mraoui, a. (2017).	potential of solar electricity for grid-connected systems in algeria
Sahnoune, f., imessad, k., & bouakaz, d. M. (2017, february)	energy consumption renewable energy development and environmental impact in algeria - trend for 2030
Alabi, o., ackah, i., & lartey, a. (2017).	re-visiting the renewable energy-economic growth nexus: empirical evidence from african opec countries
Akbi, a., saber, m., aziza, m., & yassaa, n. (2017).	an overview of sustainable bioenergy potential in algeria
Kheira benaïssa ,bendraoua abdelaziz ,mohamed boudiaf mohamed ,Habiba drici	Valorization of household waste via biogas production in Algeria: Inventory and Perspectives
Dahbi, m., benatallah, a., sellam, m., & deenai, b. (2017)	Analysis of wind power potential and electric energy in the algerian sahara regions
Haddad brahim abdelkrim, paula ferreira	Evaluation of the energy efficiency program for algeria
Abada zhourm. Bouharkatm. Bouharkatdjalel dibdjalel Dib	Energetic Potential of Algeria Analysis and Perspectives

Chems eddine tidjani, selkhan hania, miloud lacheheb	The reality of the natural gas export policy in algeria - analytical study during the period (2006-2014) –
Nadjem bailekkada , bouchouichamohamed , - slimaniabdeldjalil	Updated status of Renewable and Sustainable Energy Projects in Algeria
Bélaïd, f., & youssef, m. (2017).	Environmental degradation, renewable and non-renewable electricity consumption, and economic growth: assessing the evidence from algeria
Grigorjeva, J. (2016).	STARTING A NEW CHAPTER IN EU-ALGERIA ENERGY RELATIONS. A PROPOSAL FOR A TARGETED COOPERATION
Stambouli, a. B., khiat, z., flazi, s., & kitamura, y. (2012)	A review on the renewable energy development in algeria: current perspective, energy scenario and sustainability issues
Bouznit, m., & pablo-romero, m. D. P. (2016).	Co2 emission and economic growth in algeria
Ridha elleuch , rached salhi , mouna massaoud , ramzi maalej	Med-spring project – , unimed-mediterranean science, policy, research & innovation gateway –
Kumetat, D. (2014)	Managing the transition: Renewable energy and innovation policies in the UAE and Algeria
Bouchair, a., tebbouche, h., hammouni, a., lehtihet, m. C., & blibli, m. (2013)	Compact cities as a response to the challenging local environmental constraints in hot arid lands of algeria
Stambouli, A. B. (2011).	Promotion of renewable energies in Algeria: Strategies and perspectives
Stambouli, A. B. (2011)	Algerian renewable energy assessment: The challenge of sustainability
Dehkal rouai asmaa	Etats des lieux des énergies renouvelables dans la région mena : le pari algérien dans le secteur de la mobilisation de l'eau, مجلة نور للدراسات الاقتصادية, volume 2, numéro 3, pages 190-205, 2016/03 العدد
Boughali, s., bechki, d., mennouche, d., mahcene, h., bouguettaia, h., & boucekima, b. (2013).	Opportunités et challenges de la promotion des énergies renouvelables en algerie
Ahmed, i., said, b., & hassan, s. M. (2017)	Energy transition in algeria's desert: current state and future perspectives.
Khamouli adem (2014)	Evaluation of energy in the residential sector in algeria and 2040 outlook
Ghedamsi, r., settou, n., gouareh, a., khamouli, a., saifi, n., recioui, b., & dokkar, b. (2016)	Modeling and forecasting energy consumption for residential buildings in algeria using bottom-up approach
Ghedamsi, r., settou, n., gouareh, a., khamouli, a., saifi, n., & recioui, b. (2015, march)	Estimating the energy consumption in building sector in algeria using bottom-up mode
Technologie	
Boudries, R. (2017).	Techno-economic study of hydrogen production using CSP technology
Meziane, f., khellaf, a., chellali, f., & mohammed, k. (2017).	a wind energy conversion system for hydrogen production by water electrolysis in the region of hassi r'mel (algeria)
Chadel, a., chadel, m., aillerie, m., & benyoucef, b. (2017).	technical and economic analysis of hybrid solar/wind energy source for the site of tlemcen-algeria
Bailek, n., bouchouicha, k., mohamed, e. S., slimani, a., chang, k. C., & djaafari, a. (2017).	improved mathematical modeling of the hourly solar diffuse fraction (hsdf)-adrar, algeria case study
Kebour, o., arab, a. H., hamid, a., & abdeladim, k. (2017)	contribution to the analysis of a stand-alone photovoltaic system in a desert environment
Amri, F. (2017).	Carbon dioxide emissions, output, and energy consumption categories in Algeria

Benamrane, k., benslimane, t., abdelkhalek, o., abdelkrim, t., & borni, a. (2017).	performance evaluation and comparison of two cascaded configurations of pv generators-five levels inverter for a stand-alone application in south algeria
Roumila, z., rekioua, d., & rekioua, t. (2017).	energy management based fuzzy logic controller of hybrid system wind/photovoltaic/diesel with storage battery
Sellami, m. H., belkis, t., aliouar, m. L., meddour, s. D., bouguettaia, h., & loudiyi, k. (2017).	improvement of solar still performance by covering absorber with blackened layers of sponge
Aoues, k., zellouf, m., labed, a., & moummi, n. (2017)	experimental study of drying of green chili by solar air flat plate collector used obstacles
Benmedjahed, m., maouedj, r., & mouhadjer, s. (2017)	Wind turbine selection and wind farm design in tindouf
Berbaoui, B. (2017).	Overview and investigation of the planned dynamic voltage restorer for autonomous electrical grid: Case of Adrar, south of Algeria
Mihoub, s., chermiti, a., & beltagy, h. (2017).	methodology of determining the optimum performances of future concentrating solar thermal power plants in algeria
Chekired, F., Smara, Z., Mahrane, A., Chikh, M., & Berkane, S. (2017)	An Energy Flow Management Algorithm for a Photovoltaic Solar Home
Benzaama, M. H., Lachi, M., Maalouf, C., Mokhtari, A. M., Polidori, G., & Makhoulouf, M. (2016)	Study of the effect of sun patch on the transient thermal behaviour of a heating floor in Algeria
Hamadache, M., Mouli, M., Bouhamou, N., Benosman, A. S., Chaib, O., & Dif, F.	Caractérisation des ajouts pouzzolaniques dans le mortier pour l'efficacité énergétique des bâtiments (Characterization of pozzolanic additions in the mortar for building energy efficiency)
Maalouf, C., Boussetoua, H., Moussa, T., Lachi, M., & Belhamri, A	Experimental and numerical investigation of the hygrothermal behaviour of cork concrete panels in north Algeria
Laïd Laoufi ,Yassine Senhadji,Amar Benazzouk,A. S. Benosman	Assessment of pozzolanic mortars sustainability exposed to chemical attack
Saifi, N., Settou, N., & Dokkar, A. (2015, March).	Modeling and parametric studies for thermal performance of an earth to air heat exchanger in South East Algeria
Missoum, M., Hamidat, A., & Loukarfi, L. (2014)	Energetic Performance Analysis of a Solar Combisystem. Application to a Rural House in Chlef Region (Algeria)
Selka, G., Korti, A. I. N., & Abboudi, S. (2015).	Dynamic thermal behavior of building using phase change materials for latent heat storage
Fouada, K., & Boudjemaab, A.	Integration of biocomposite material in building envelope.
Cherifa Karamostefa	Modeling and simulation of façade photovoltaic system at university in Algeria
Sehli abdelkrim ,hasni abdelhafid , mohammed tamali	Cooling building by geothermal energy: application in south algeria
Rabah gomri ,mourad boulkamah	Effect of the storage capacity and solar collectors area on the performance of space heating system using a solar heat pump
Agoudjil, b., benchabane, a., boudenne, a., ibos, l., & fois, m. (2011).	Renewable materials to reduce building heat loss: characterization of date palm wood

Bouchahm, y., bourbia, f., & belhamri, a. (2011).	Performance analysis and improvement of the use of wind tower in hot dry climate
Arab, a. H., cherfa, f., choudier, a., & chenlo, f. (2005, june)	Grid-connected photovoltaic system at cder-algeria
Semaoui, S. (2014).	Contribution à l'étude des systèmes photovoltaïques utilisés pour l'alimentation des maisons individuelles dans les zones du sud Algérien
Benhammou, m., & draoui, b. (2012)	Caractérisation d'un échangeur géothermique à air destiné au rafraîchissement des bâtiments fonctionnant dans les conditions climatiques du sud de l'algerie
Bellara, s. L., & abdou, s. (2012)	Effet de l'ombrage sur le confort thermique et visuel dans les espaces extérieurs : cas de l'esplanade de l'université mentouri de constantine, est de l'algerie.
Chabane, f., moumami, n., & benramache, s. (2013).	Experimental analysis on thermal performance of a solar air collector with longitudinal fins in a region of biskra, algeria
Chikhi, m., agoudjil, b., boudenne, a., & gherabli, a. (2013)	Experimental investigation of new biocomposite with low cost for thermal insulation
Aoues, K., Moumami, N., Zellouf, M., & Benchabane, A. (2011).	Thermal performance improvement of solar air flat plate collector: a theoretical analysis and an experimental study in Biskra, Algeria
Saheb-Koussa, D., Haddadi, M., & Belhamel, M. (2009).	Economic and technical study of a hybrid system (wind-photovoltaic-diesel) for rural electrification in Algeria
Sotehi, O., Chaker, A., & Maalouf, C. (2016)	Hybrid PV/T water solar collector for net zero energy building and fresh water production: a theoretical approach
ville, énergie, approche paramétrique, méthode stat	
Boukarta, s., & berezowska, e. (2017)	Exploring the energy implication of urban density
A Kabab, F Harouni - Bulletin de la Société de géographie d'égypte, 2005	Morphologie Urbaine Et Besoins d'énergie: Le Cas de Annaba
urbain : microcli, énergie, l'éclairage naturel, ventilation	
Soufiane, b., & ewa, b. A. (2017).	"urban island" as an energy assessment tool. The case of mouzaia, algeria
Boukarta, S; Mokhtari, A (2017)	Identification énergétique des formes urbaines
Missoum, a., slimani, a., khelfaoui, r., fezzoui, n., & belarbi, r. (2009).	Air distribution simulation in interior street canyon in the case microclimate of south west algeria
Ballout amor	Urban quality through thermal comfort conditions in an urban space."the square of independence, sétif, algeria"
Boukhelkhal, i., & bourbia, p. F. (2016)	Thermal comfort conditions in outdoor urban spaces: hot dry climate -ghardaia- algeria
Lamia, k., rafik, b., & djaffar, s. (2015)	Thermal and airflow characteristics of transitional spaces in a traditional urban fabric case study of a covered walkway in timimoun (south west of algeria)
Kitous, s., bensalem, r., & adolphe, l. (2012)	Airflow patterns within a complex urban topography under hot and dry climate in the algerian sahara

Bourbia, f., & awbi, h. B. (2004)	Building cluster and shading in urban canyon for hot dry
Rchid, A. (2012).	The Effects of Green Spaces (Palme Trees) on the Microclimate in Arid Zones, Case Study: Ghardaia , Algeria
Fezzioui, n., khoukhi, m., dahou, z., aït-mokhtar, k., & larbi, s. (2009).	Bioclimatic architectural design of ksar de kenadza: south-west area of algeria hot and dry climate
Fazia ali-toudert	Dependence of outdoor thermal comfort on street design in hot and dry climate
Ali-toudert, f., djenane, m., bensaïem, r., & mayer, h. (2005).	Outdoor thermal comfort in the old desert city of beni-isguen, algeria
Fatiha bourbia, fouzia boucheriba ,tebbani h	St reet design and out door co mfort for semi arid climate
Ammar bouchair	Decline of urban ecosystem of mzab valley
Fazia Ali-Toudert ,Helmut mayerhelmut	STREET DESIGN AND THERMAL COMFORT IN HOT AND DRY CLIMATE
Ammar bouchair · hocine tebbouche	L'évaluation environnementale qualitative du vieux bâti -méthodes et outils –
Boukhabla, m., alkama, d., & bouchair, a. (2013)	The effect of urban morphology on urban heat island in the city of biskra in algeria
Mestoul, d., bensaïem, r., & adolphe, l. (2017).	Modeling of urban form against sand accumulation in the city of gourara in southern algeria
Mehibel, m., pitts, a., & gao, y. (2014)	Sustainability and the urban planning context: housing development in algeria
Yousfi, f., bourbia, f., & ballout, a. (2017)	Impact des formes urbaines sur le microclimat extérieur des tissus urbains anciens et nouveaux de la ville de constantine
M AMOURA - pnst.cerist.dz	La densité énergétique comme outil d'orientation de planification pour la maitrise d'énergie en milieu urbain. Exemple de la commune de Bab-Ezzouar à Alger.
Atik, T. (2011).	Les toitures végétalisées à Alger, pour une contribution à l'amélioration du microclimat urbain méditerranéen
Mahaya, C. (2014).	Optimisation de la forme urbaine par l'évaluation du potentiel solaire
Achour-bouakkaz, n. (2006)	La relation entre l'ilot de chaleur urbain, phénomène du changement climatique et la densité du plan bati: cas de la ville d'alger
Mesmoudi, k., meguallati, k. H., & bournet, p. E. (2017)	Effect of the greenhouse design on the thermal behavior and microclimate distribution in greenhouses installed under semi-arid climate
Rchid, A. (2012)	The Effects of Green Spaces (Palme Trees) on the Microclimate in Arides Zones, Case Study: Ghardaia, Algeria

Louafi-bellara, s., & abdou, s. (2016).	Vegetation effects on urban street microclimate and thermal comfort during overheated period under hot and dry climatic conditions
Mahimoud, A., & ZEROUALA, M. (2010).	L'IMPACT DES FORMES URBAINES NOUVELLES SUR LE MICROCLIMAT D'UNE VILLE APPARTENANT AU MILIEU ARIDE – CAS DE LA ZHUN OUEST A BISKRA –
Merrouche, m. (2011)	Microclimat, végétation urbaine dans les espaces publics cas : jardin benaceur (constantine)
Bouketta, s., & bouchahm, y. (2012)	L'effet de la géométrie urbaine sur l'écoulement du vent et la ventilation naturelle extérieure
Kadri, w.(2012)	Végétation urbaines : entre effets microclimatiques et représentations des usagers (cas de la vile d'alger)
Ali-toudert, f. (2000)	Intégration de la dimension climatique en urbanisme
Matallah, M. E. (2015)	L'impact de la morphologie des tissus urbains sur le confort thermique extérieur - Cas d'étude ville de Tolga -
Haine, k., & blumberga, d. (2016)	Towards solar urban planning: a new step for better energy performance case of study ibenbadis, constantine (algeria)
Masmoudi, s., & mazouz, s. (2004)	Relation of geometry, vegetation and thermal comfort around buildings in urban settings, the case of hot arid regions

Annexe C : Caractéristiques thermiques des matériaux utilisés dans les simulations du chapitre 5.

Tableau 1 : Caractéristiques thermiques des matériaux utilisés dans les simulations.

L'Enveloppe			
Murs Extérieur	Composants	Épaisseur (Cm)	Resistance Thermique (m²k/w)
Double Parois (DP)	Mortier de ciment	02.0	0.01
	Brique Creuse	15.0	0.27
	Lames d'air	05.0	0.16
	Brique creuse	10.0	0.18
	Mortier de ciment	02.0	0.01
			Total : 0.63
Double Parois+Isolant	Mortier de ciment	02.0	0.01
	Brique Creuse	15.0	0.27
	Polystyrène expansé	05.0	1.28
	Brique Creuse	10.0	0.18
	Mortier de ciment	02.0	0.01
			Total : 1.75
Mono Murs	Mortier de ciment	02.0	0.01
	Mono mur extérieur	30.0	2.65
	Mortier de ciment	02.0	0.01
			Total : 2.67
Mono Murs+Isolant	Mortier de ciment	02.0	0.01
	Mono mur extérieur	30.0	2.65
	Polystyrène expansé	05.0	1.28
	Mortier de ciment	02.0	0.01
			Total : 3.95
Fenêtres	Composants	Coeff W/(m².K) U	
	Simple vitrage	05.00	
	Survitrage	03.80	
	Double vitrage A	02.79	
	Double vitrage B	01.70	
	Triple Vitrage	0.72	
Porte Extérieures	Porte en bois	05.00	
Plancher			
Plancher Haut	Composants	Épaisseur (Cm)	Resistance Thermique (m²k/w)
Pl. courant en hourdis	Placoplatre BA13	1.3	0.04
	Hourdis en béton	12.0	0.11
	Béton lourd	04.00	0.02
	Mortier	05.00	0.04
	Carrelage	1.0	0.01
			Total : 0.22
Pl. courant en hourdis01	Mortier de ciment	02.00	0.01
	Hourdis en béton	16.00	0.13
	Béton lourd	04.00	0.02
	Polystyrène expansé	05.00	1.28
	FP en béton	03.00	0.08
	Mortier de ciment	03.00	0.02
	Carrelage	01.00	0.01
			Total : 1.25
Pl. courant en hourdis02	Mortier de ciment	02.00	0.01
	Hourdis en béton	16.00	0.13
	Béton lourd	04.00	0.02
	Polystyrène expansé	10.00	2.56

	FP en béton	03.00	0.08
	FB36S	03.00	0.13
	Gravier	03.00	0.08
			Total : 3.01
Plancher Terre plein	Béton lourd	20.00	0.11
	Polystyrène expansé	04.00	1.03
	Mortier	05.00	0.04
	Carrelage	02.00	0.01
			Total : 1.19
L'intérieur			
Murs d'intérieur	Composants	Épaisseur (Cm)	Resistance Thermique (m²k/w)
Cloison brique	Plâtre courant	02.00	0.06
	Brique creuse	05.00	0.10
	Plâtre courant	02.00	0.06
			Total : 0.22
Porte d'intérieur	Composants	Coeff U W/(m².K)	
Porte	Porte en bois	05.00	

Annexe D : Complément des résultats relatif aux analyses en composante principale du chapitre 6.

• ACP de la part modale de la voiture

Tableau 2 : les communalités des variables explicative à partir de l'ACP de la part modale de la voiture.

	Initial	Extraction
Dest_dist_dom_trav_mètres	1,000	,736
Acc_durée_aller_min	1,000	,812
Acc_rotation_bus_trv	1,000	,890
Des_COS_Net	1,000	,884
Des_CES_NET	1,000	,967
Des_type_det_hab	1,000	,884
Des_Distance_RN	1,000	,842
Des_Distance_center	1,000	,879
Des_Surf_îlot_net	1,000	,616
Des_Nbr_niv_moyen	1,000	,848
Div_indice_mixité_fonctionnelle	1,000	,607
DisTC_Distance_tc_domi	1,000	,712
DisTC_Fréqu_bus	1,000	,752
Acc_Arrêt_de_bus_travail	1,000	,740
Occ_Professionn	1,000	,437
Occ_age_répondant	1,000	,850
Occ_N_instructoni	1,000	,730
Occ_revenu	1,000	,840
Occ_nbr_voiture	1,000	,791
Occ_TOL	1,000	,607
Voiture	1,000	,796

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Tableau 3 : la variance expliquée par l'ACP de la part modale de la voiture.

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	4,949	23,566	23,566	4,949	23,566	23,566	4,202	20,010	20,010
2	2,764	13,163	36,729	2,764	13,163	36,729	2,305	10,978	30,988
3	2,198	10,466	47,195	2,198	10,466	47,195	2,143	10,206	41,194
4	2,102	10,010	57,205	2,102	10,010	57,205	1,997	9,507	50,701
5	1,661	7,908	65,113	1,661	7,908	65,113	1,888	8,992	59,693
6	1,291	6,149	71,262	1,291	6,149	71,262	1,844	8,780	68,473
7	1,256	5,979	77,241	1,256	5,979	77,241	1,841	8,768	77,241
8	,915	4,356	81,597						
9	,788	3,754	85,351						
10	,586	2,788	88,139						
11	,486	2,313	90,452						
12	,458	2,182	92,634						

13	,354	1,688	94,322						
14	,323	1,537	95,859						
15	,242	1,154	97,014						
16	,193	,921	97,934						
17	,154	,735	98,669						
18	,103	,493	99,162						
19	,087	,415	99,577						
20	,079	,374	99,951						
21	,010	,049	100,000						

Extraction Method: Principal Component Analysis.

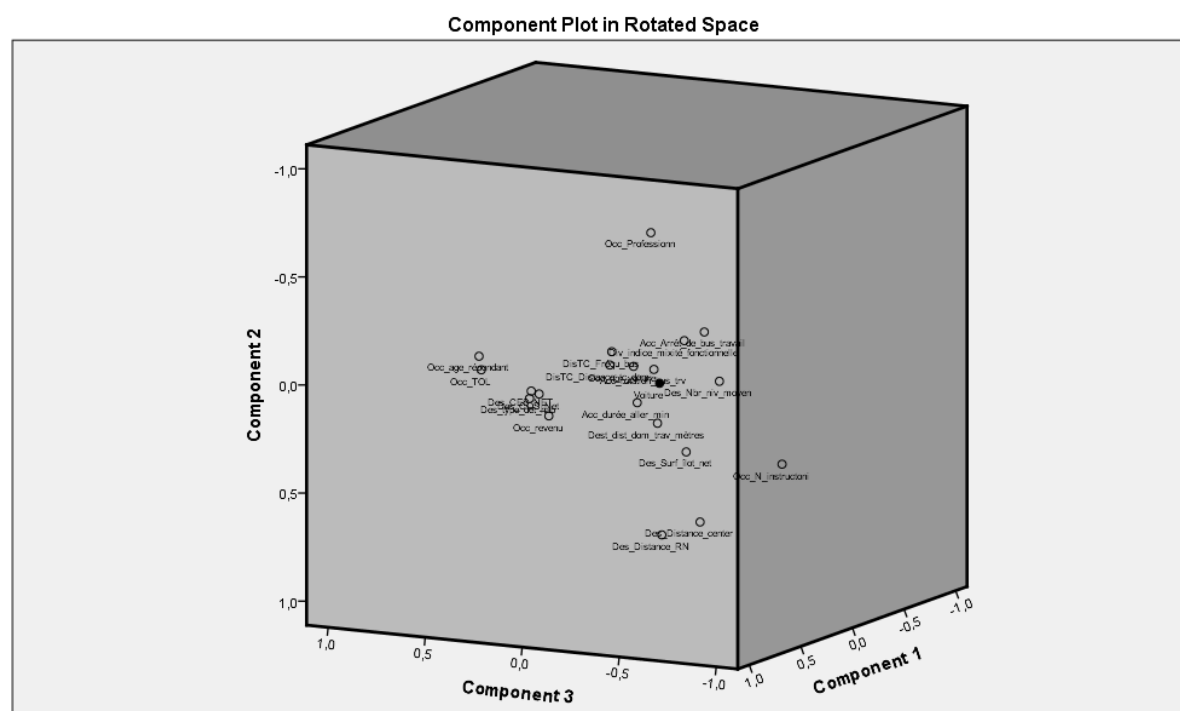


Figure 1 : la projection tri-axiale des variables explicative de la part modale de la mobilité dans l'espace ACP.

• **ACP de la part modale de la marche à pied et des TC :**

Tableau 4 : communalités des variables explicatives de la part modale de la marche à pied et des TC

	Initial	Extraction
Dest_dist_dom_trav_mètres	1,000	,744
Acc_durée_aller_min	1,000	,817
Acc_rotation_bus_trv	1,000	,854
Des_COS_Net	1,000	,881
Des_CES_NET	1,000	,961
Des_type_det_hab	1,000	,885
Des_Distance_RN	1,000	,776
Des_Distance_center	1,000	,857
Des_Surf_îlot_net	1,000	,626
Des_Nbr_niv_moyen	1,000	,854
Div_indice_mixité_fonctionnelle	1,000	,593
DisTC_Distance_tc_domi	1,000	,722

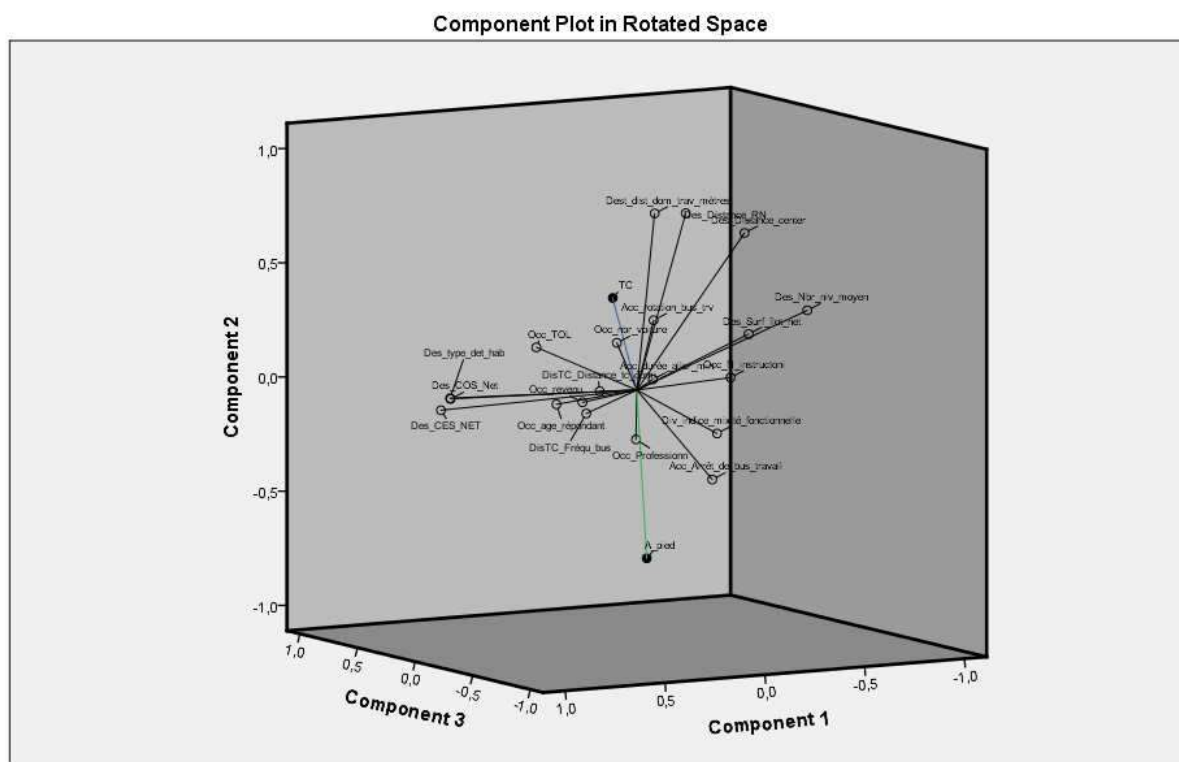
DisTC_Fréqu_bus	1,000	,717
Acc_Arrêt_de_bus_travail	1,000	,741
Occ_Professionn	1,000	,348
Occ_age_répondant	1,000	,844
Occ_N_instructoni	1,000	,740
Occ_revenu	1,000	,839
Occ_nbr_voiture	1,000	,840
Occ_TOL	1,000	,595
A_pied	1,000	,648
TC	1,000	,771

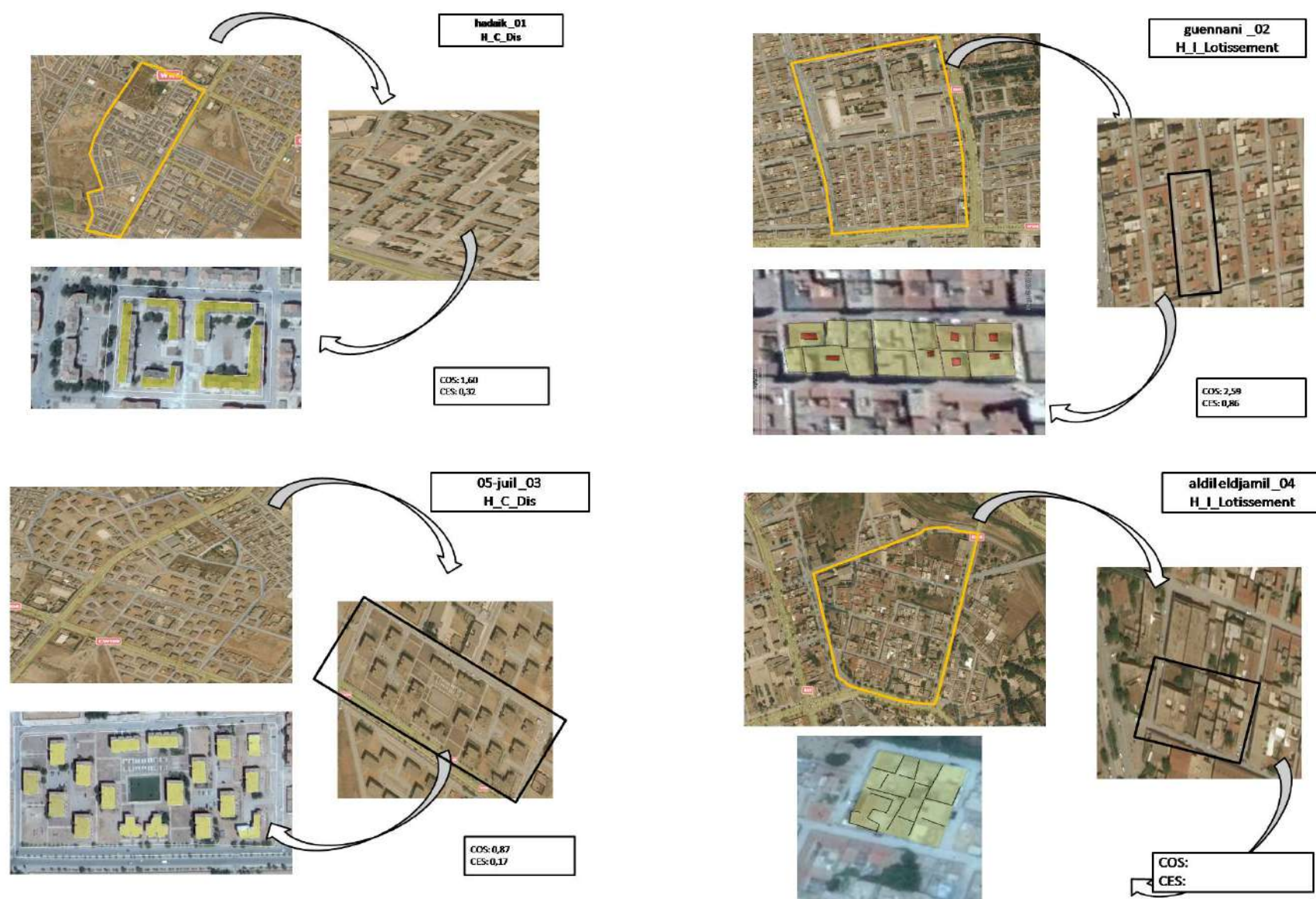
Extraction Method: Principal Component Analysis.

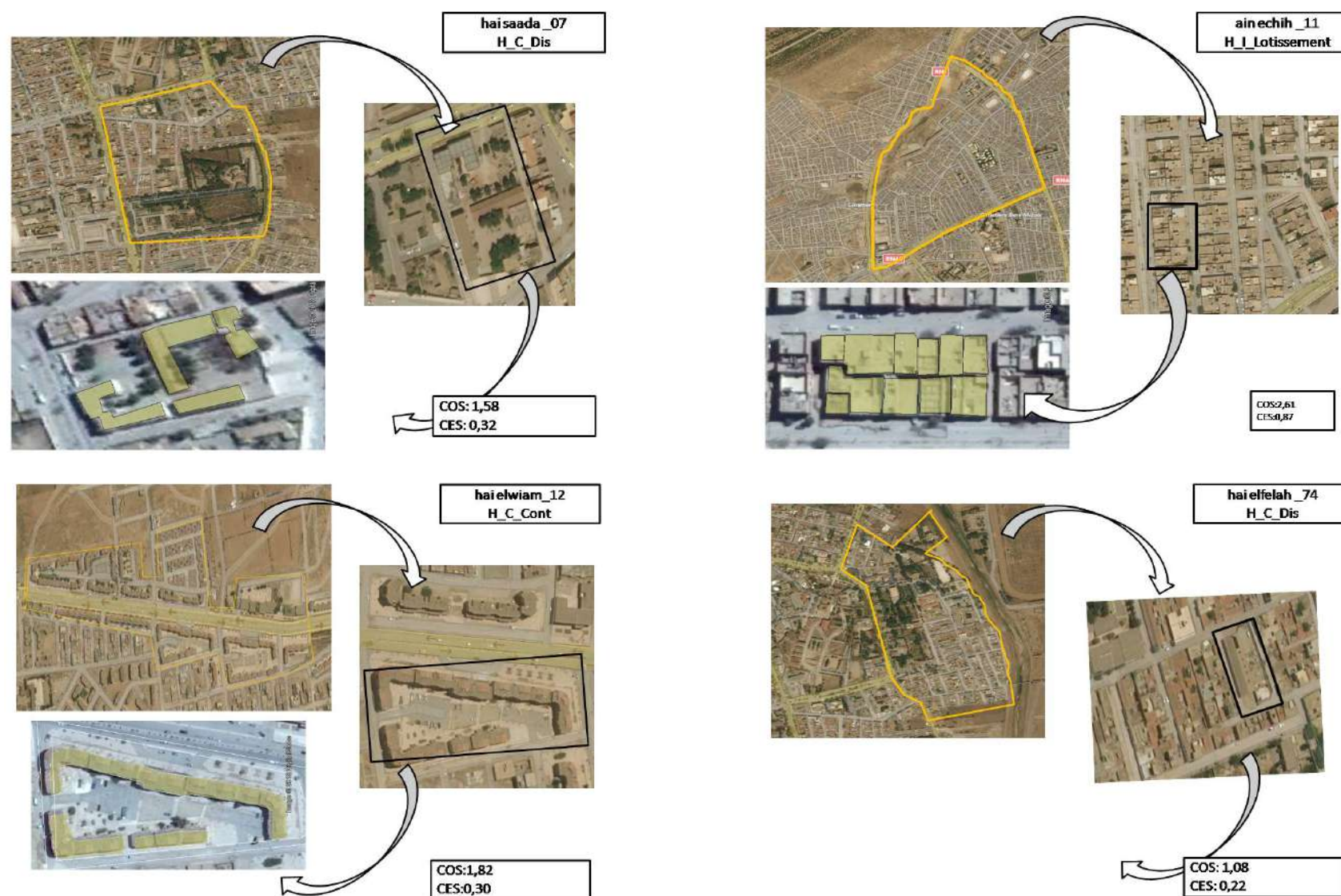
Tableau 5 : la variance expliquée par l'ACP de la part modale de la marche à pied et des TC.

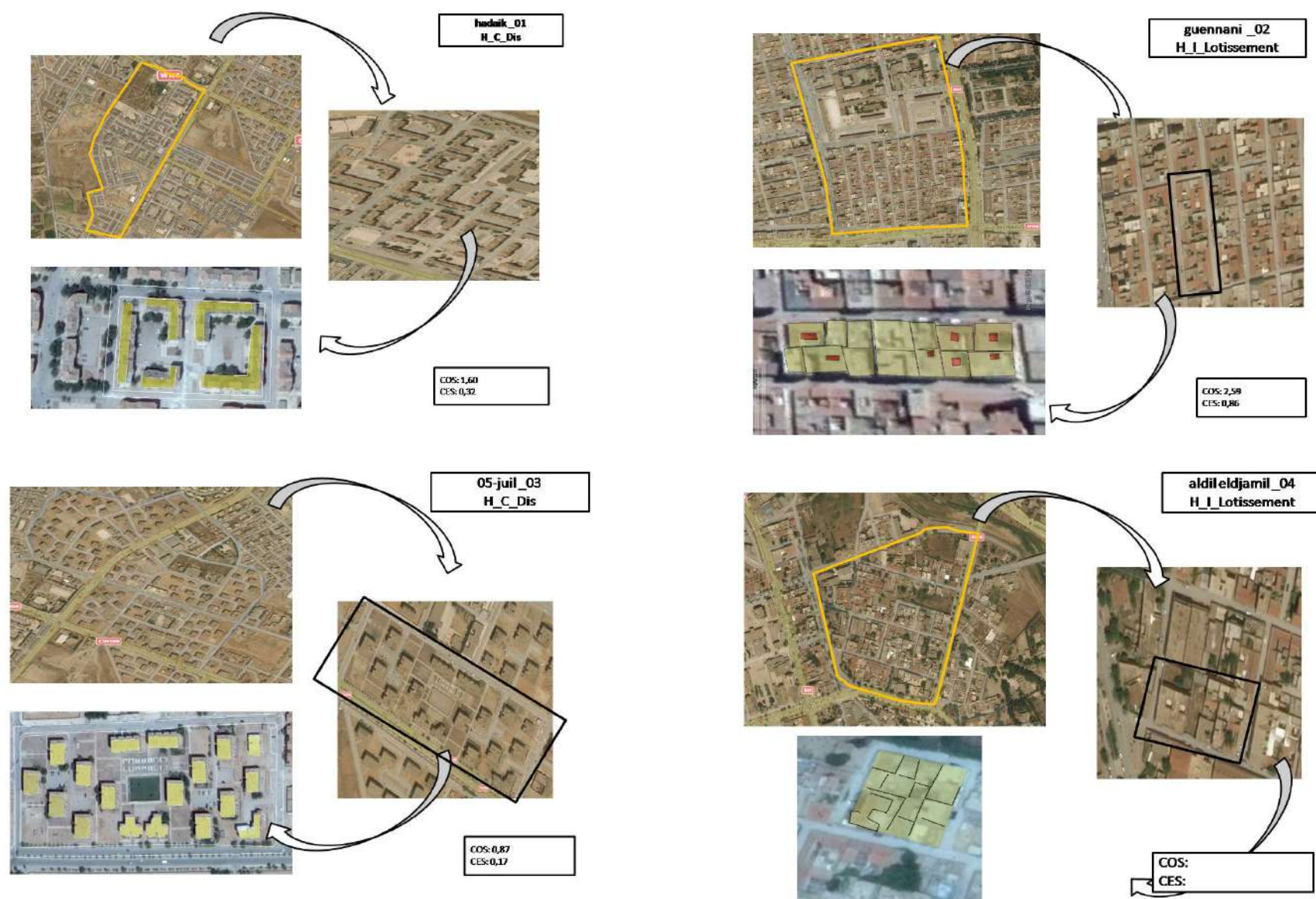
Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	5,069	23,039	23,039	5,069	23,039	23,039	4,282	19,465	19,465
2	3,052	13,873	36,912	3,052	13,873	36,912	2,952	13,419	32,884
3	2,288	10,398	47,310	2,288	10,398	47,310	2,218	10,082	42,966
4	2,041	9,276	56,586	2,041	9,276	56,586	1,877	8,533	51,499
5	1,702	7,736	64,322	1,702	7,736	64,322	1,869	8,498	59,996
6	1,292	5,873	70,195	1,292	5,873	70,195	1,738	7,901	67,897
7	1,209	5,497	75,692	1,209	5,497	75,692	1,715	7,795	75,692
8	,939	4,269	79,961						
9	,853	3,879	83,841						
10	,775	3,521	87,361						
11	,491	2,231	89,592						
12	,460	2,093	91,685						
13	,414	1,882	93,567						
14	,349	1,587	95,154						
15	,320	1,456	96,609						
16	,186	,844	97,453						
17	,167	,758	98,211						
18	,130	,592	98,803						
19	,101	,460	99,264						
20	,082	,374	99,638						
21	,070	,317	99,954						
22	,010	,046	100,000						

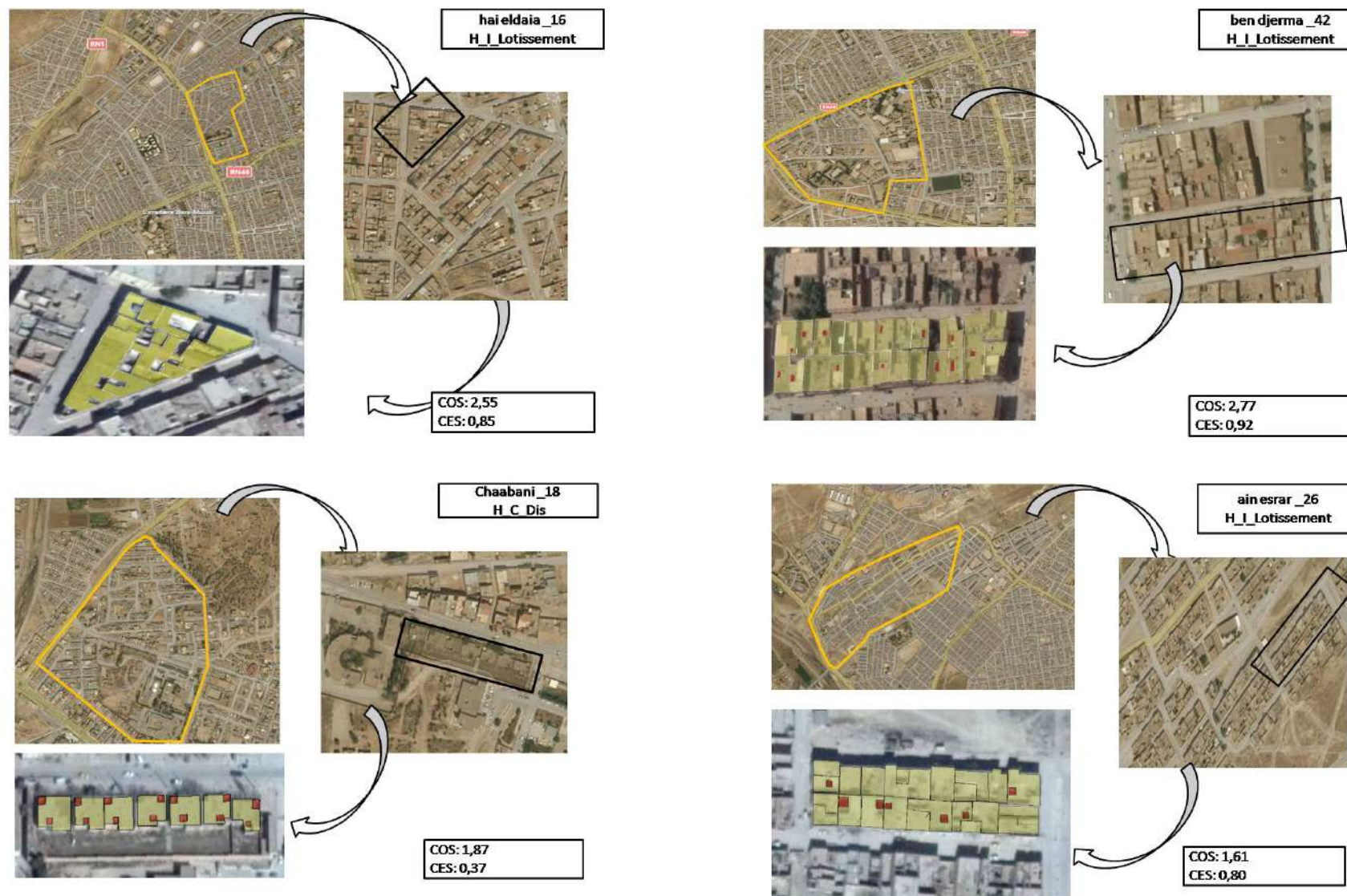
Extraction Method: Principal Component Analysis.

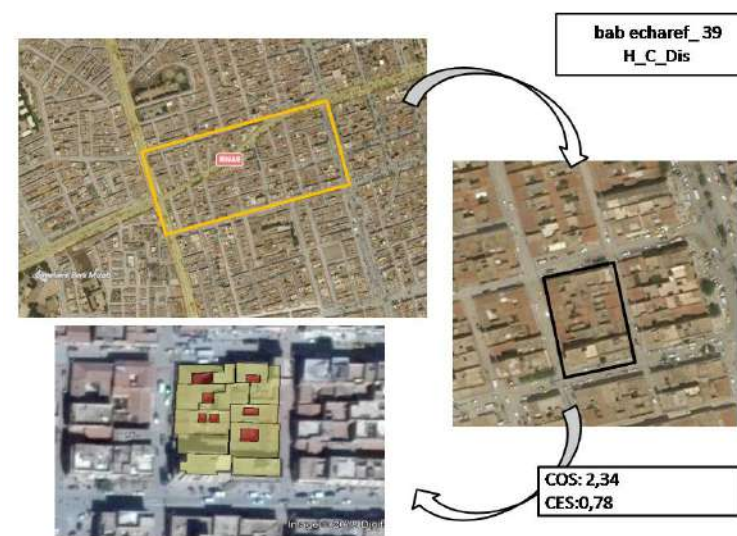
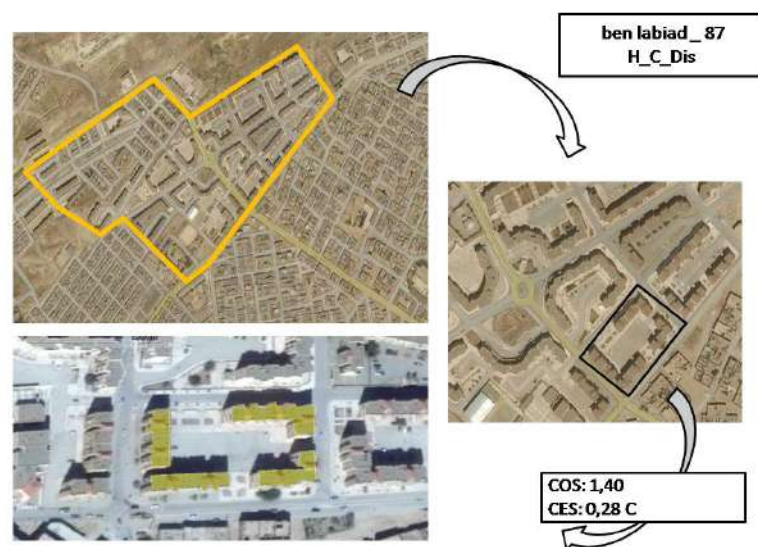
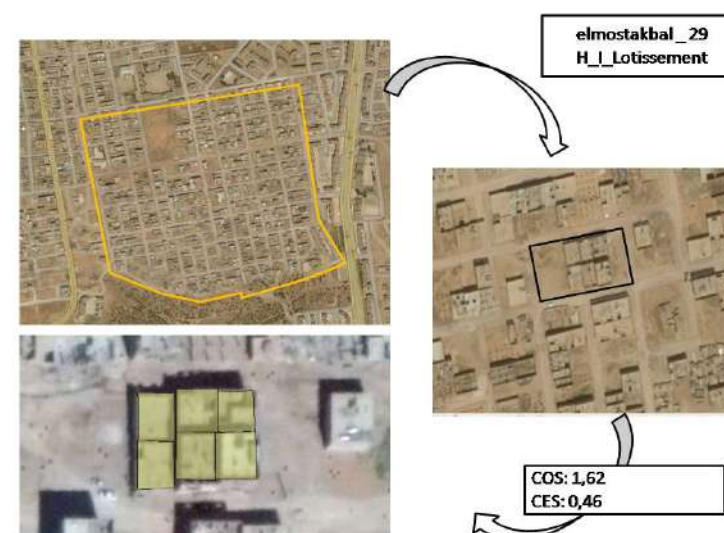
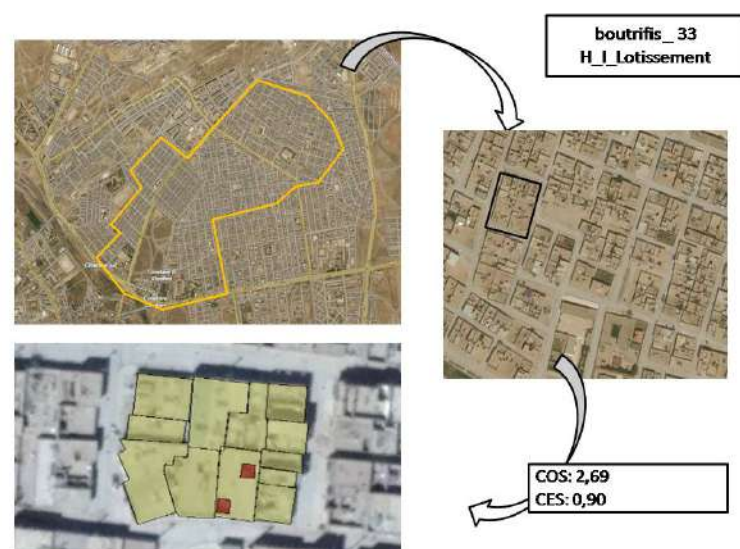


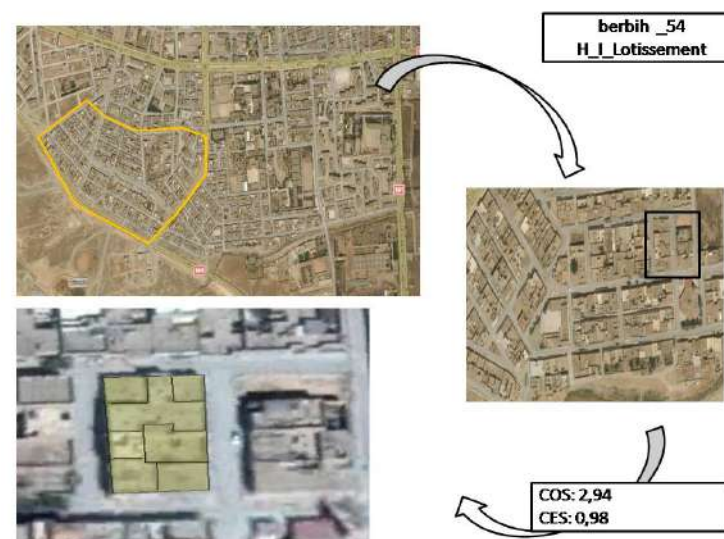
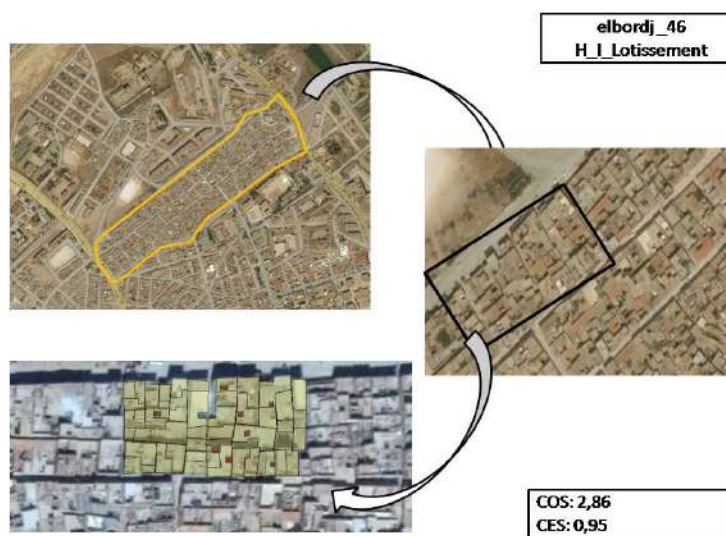
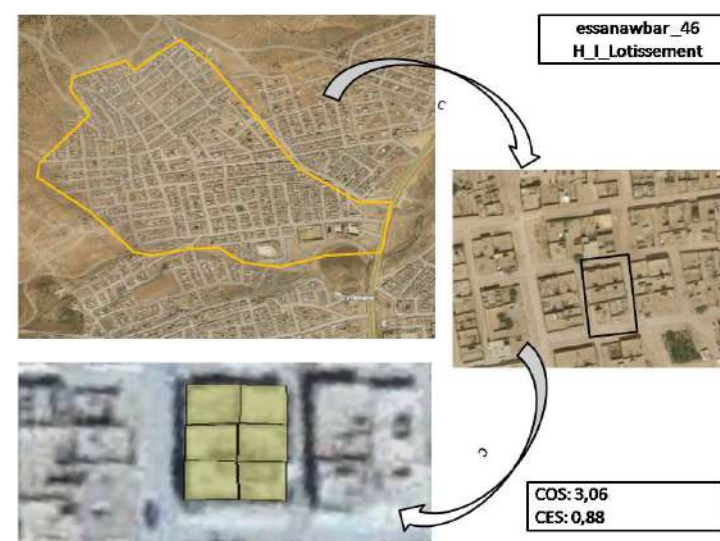
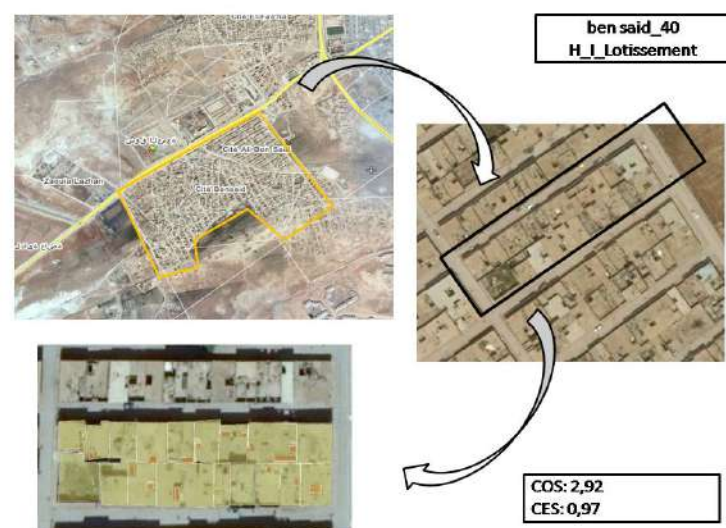


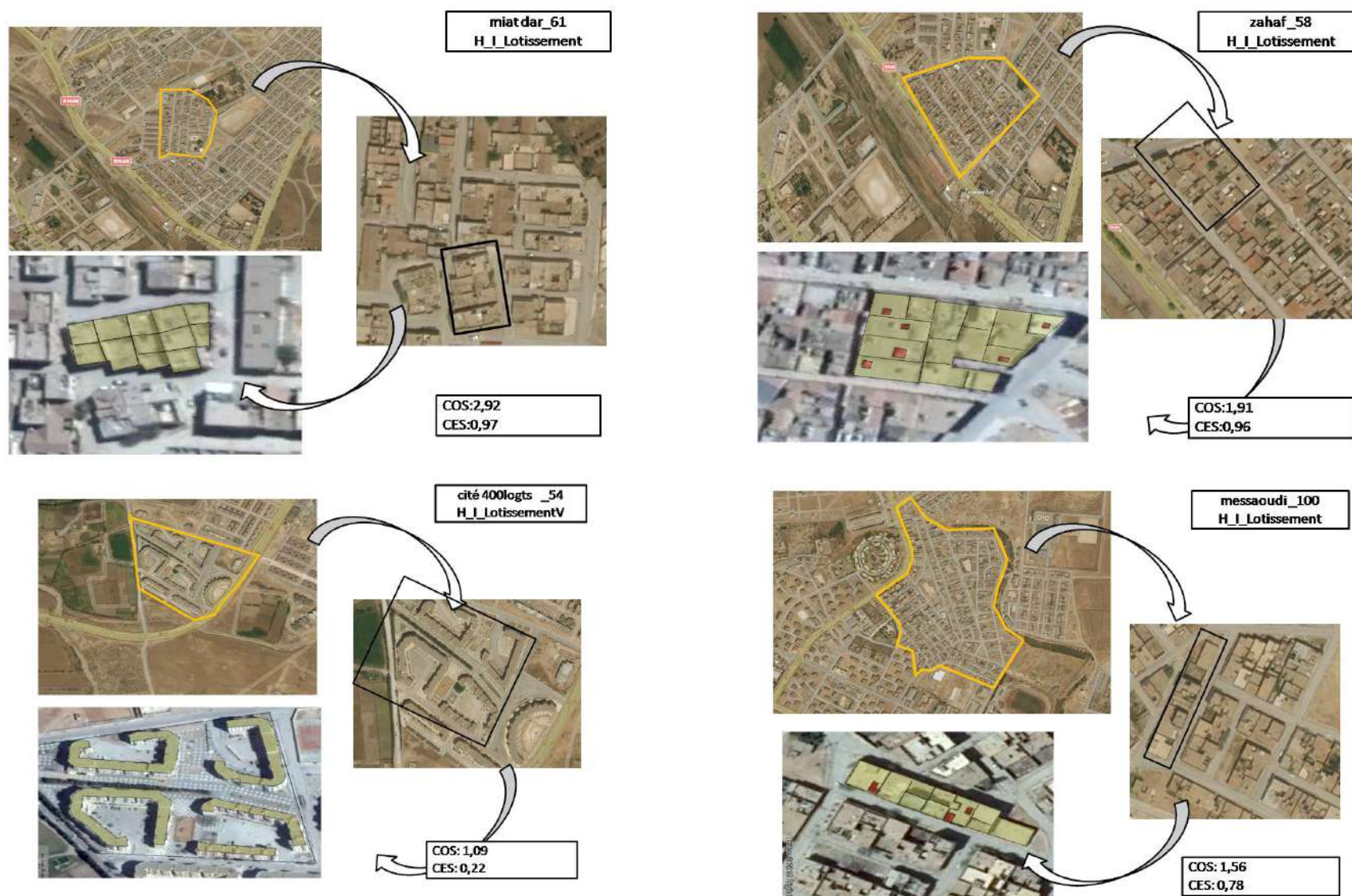


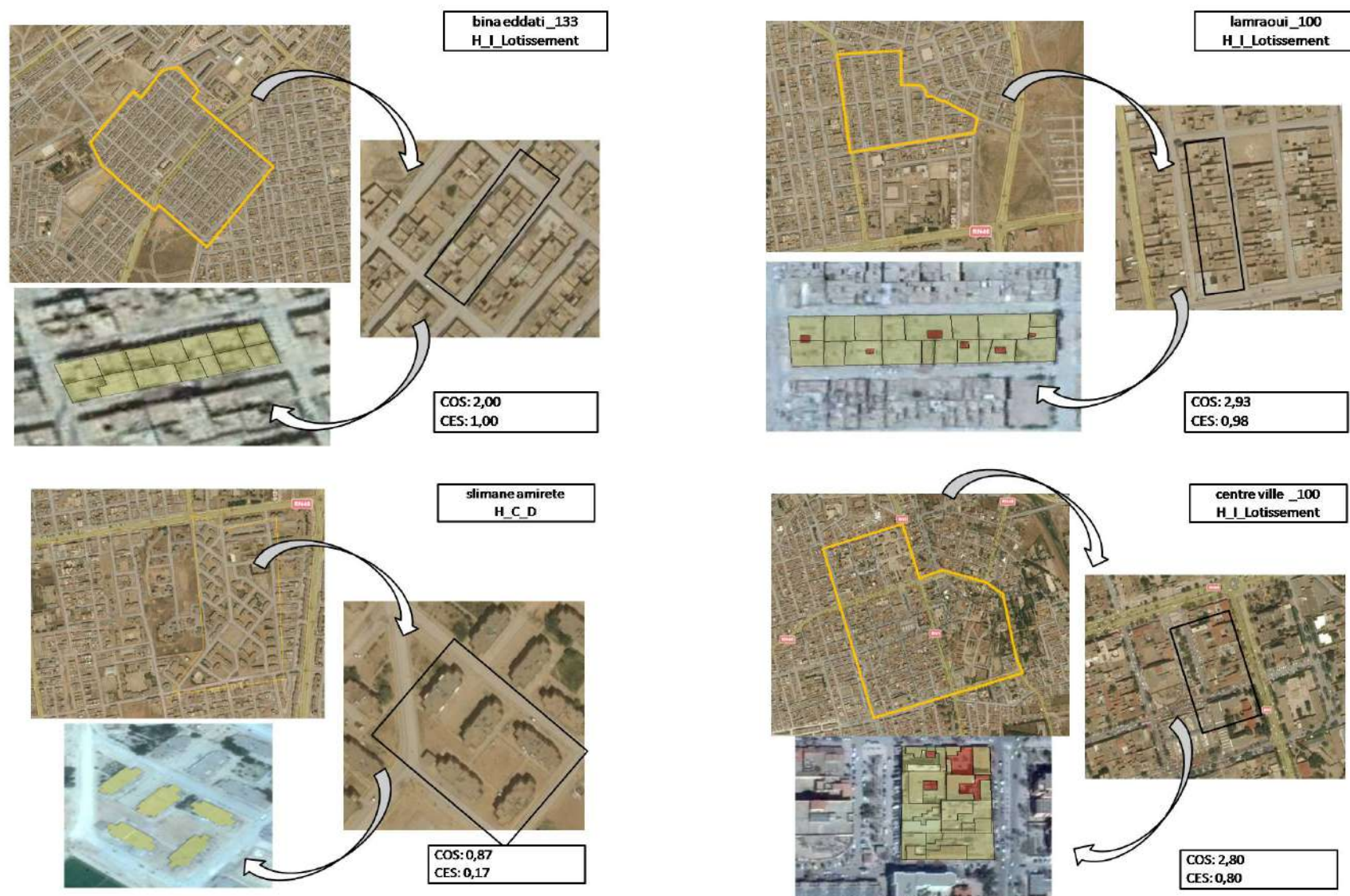












Annexe F : Questionnaire utilisé pour la collecte des données portant sur la mobilité résidentielle.

1. الأسرة و المسكن

1.1. تحديد المكاني :

نوع الملكية , تصنيف حد ☐ المالك ☐ المستأجر ☐
 نمط السكن : سكن فردي (villa) ☐ سكن جماعي (logement) ☐
 الحـي:
 نموذج رقم.....
 تاريخ المقابلة

1.2. تعريف الأسرة :

- كم عدد غرف المنزل ؟ | | |
- ما هي مساحة منزلك ؟ m²
- سنة بناء المساكن ؟ | | | ... |

الأسرة

الأسرة						
العلاقة الأسرية	المهنة	الجنس	العمر	المستوى الدراسي	دخل الأسرة	
الأفراد الأسرة	ضع الرقم الموافق	ضع الرقم الموافق		ضع الرقم الموافق	اختر الخانة الموافقة	
1. موظف في الدولة	1. غير متمدرس	ذكر (1)		1- أقل من الاجر القاعدي (15000 دج)	☐	1
2. موظف في القطاع الخاص	2. الابتدائي	أنثى (2)		2- الاجر القاعدي (15000 دج)	☐	2
3. وظيفة حرة	3- الأساسي			3- الى ضعف الاجر القاعدي (15000 - 30000 دج)	☐	3
4. عاطل عن العمل	4- الثانوية			4- الى أربعة أضعاف الاجر القاعدي (30000 - 60000 دج)	☐	4
	5- الجامعة			5- أكثر من أربعة أضعاف الاجر القاعدي (أكثر من 60000 دج)	☐	5
						6
						7
						8
						9
						10
						11
						12

1.3. مرافق النقل

- كم عدد السيارات في منزلك؟ | |
- كم عدد الدراجات الميكانيكية، في منزلك؟ | |
- كم عدد الدراجات الهوائية في منزلك؟ | |

4.1. المواصفات التفصيلية للسيارات:

N	نوع السيارة	العلامة التجارية	الوقود	اختيار الوقود	سنة التصنيع	متوسط الاستهلاك لكل 100 كم في المدينة؟	متوسط الاستهلاك لكل 100 كم الطريق السريع خارج المدينة؟
	ضع الرقم الموافق 1-نوعية 2- السباحية 3- ذات العجلتين 4- دراجة هوائية	Ex : Renault, peugeot... etc	ضع الرقم الموافق 1-GPL (sirghaz) 2-Essence 3-Diesel	ضع الرقم الموافق 1- اقتصادي 2- الإيكولوجية 3- قوة الدفع	Ex : 2005-	كم لتر بنزين	كم لتر بنزين
1							
2							
3							
4							
5							
N	السيارة لديها تكييف الهواء؟ ضع الرقم الموافق 1-نعم 2-لا	تستخدم تكييف الهواء؟ ضع الرقم الموافق 1-نعم، بانتظام، من درجة حرارة معينة. 2-على نحو إستثنائي 3-باستمرار.	في أي درجة حرارة (تقريباً) تستخدم تكييف الهواء؟	كم عدة كيلومترات. كنت قد سافرت مع هذه السيارة في الـ 12 الأشهر الماضية؟			
1							
2							
3							
4							
5							

5.1. موقف سيارات.

أين تترك سيارتك في النهار ؟

1
2
3
4
5
6

1. المنزل ؟
2. مكان آخر: في وقوف السيارات السكنية، أو في الهواء الطلق في حديقة
3. موقف السيارات غير السكنية في الهواء الطلق
4. مجاناً على الطرق العامة
5. على الطرق العامة، ودفع
6. آخر

أين تترك سيارتك في الليل ؟

1
2
3
4
5
6

1. المنزل ؟
2. مكان آخر: في وقوف السيارات السكنية، أو في الهواء الطلق في حديقة
3. موقف السيارات غير السكنية في الهواء الطلق
4. مجاناً على الطرق العامة
5. على الطرق العامة، ودفع
6. آخر

1.7 استخدام الدراجات :

إن كنت لا تستخدم الدراجة لأسباب تتعلق بما يلي :	هل تستخدم الدراجة؟	من الذي يستخدم الدراجة؟	يستخدم الدراجة ل :
☐ 1- (البرد أو الحرارة) المناخ ☐ 2- الموقف مشكل ☐ 3- أمن المرور ☐ 4- خطر سرقة	☐ نعم 1- ☐ لا 2-	1- 2- 3-	☐ 1. ممارسة الرياضة ☐ 2. للتنزه ☐ 3. لرحلات نفعية ☐ 4. الترفيه للأطفال

هل هناك مسارات الدراجة حول منزلك؟ (على بعد 1 كم)

1. نعم ☐2. لا ☐

1.7 المحيط

1.7.1: التنوع الوظيفي

كم يبعد المنزل عن ؟ (ضع الرقم الموافق)

1. أقل من 300 م (أو أقل من 5 دقائق سيرا على الأقدام).
 2. 300 متر إلى 599 متر (أو 5 إلى 9 دقائق سيرا على الأقدام).
 3. 600 م إلى 999 م (أو 10-14 دقيقة سيرا على الأقدام).
 4. 1 كم أو أكثر (أو على الأقل 15 دقيقة سيرا على الأقدام).

1	مقر البلدية	المحلات الصغيرة (بقالة، مخبز، مقهى تباك)،	1
2	الملحقات	وسوبر ماركت	2
3			3
4			4
1	المتوسطة CEM	المدسة	1
2			2
3			3
4			4
1	مواقف الحافلات	الثانوية le Lycée	1
2	Arrêt de bus		2
3			3
4			4
1	La Poste	وسط المدينة	1
2			2
3			3
4			4
1	Parking	Centre de santé, hôpital, polyclinique ... etc	1
2	مواقف	مركز صحي أو مستشفى أو عيادة الخ...	2
3			3
4			4

كم مرة في اليوم، والحافلة تعبر بالقرب من منزلك (في جميع الاتجاهات)؟

1. عدة مرات في الساعة
 2. أكثر من عشر مرات. تقريبا كل ساعة.
 3. خمس إلى عشر مرات يوميا
 4. 2 إلى أربع مرات في اليوم
 5. أقل من مرة واحدة، أبدا

1
2
3
4
5

2. التنقل (الرحلات وتواتر)

2.1 التنقل المنتظم المقيد

2.1.1 التنقل العمل — المنزل

- وصف طبيعة العمل:

مقدار الإجازة السنوية (أسابيع) بانتظام؟ عدد الأسابيع (52-0)

كم ساعة تعمل في الأسبوع؟

• التنقل، الوتيرة و المسافة

مكان عملك، هل هو ...؟

1. موقع ثابت خارج المنزل.	1
2. عدة مواقع ثابتة خارج المنزل.	2
3 متغير. بعيدا عن المنزل	3
4. في المنزل	4

الحي الذي تعمل فيه :.....
للذهاب إلى عملك. يرافقك كم من شخص؟ شخص

ما وسيلة النقل التي تستخدمها للوصول إلى مكان عملك؟

☐	1- سيرا على الأقدام
☐	2- سيارتك
☐	3- النقل العام
.....	
كم أو م	

بشكل عام، كم عدد أيام في الأسبوع تذهب إلى مكان عملك؟ (1-7)

كم يبعد منزلك من مكان عملك؟ (بالمتر إذا كانت قريبة)

كم من الوقت، تحتاج عادة للوصول لعملك؟

..... ساعة و دقيقة	• رحلة للذهاب؟
..... ساعة و دقيقة	• رحلة العودة؟
..... مرة في اليوم	• بشكل عام، كم ذهاب و عودة في اليوم؟

تستخدم نفس وسائل النقل في الذهاب والعودة؟ 1. نعم . 2. لا
هل هناك طريقة أخرى لتجنب الاختناقات المرورية؟ 1. نعم . 2. لا

في مكان العمل، هناك موقف للحافلات؟

1. أقل من 300 م (أو أقل من 5 دقائق سيرا على الأقدام)	1
2. من 300 متر إلى 599 متر (أو 5 إلى 9 دقائق سيرا على الأقدام)	2
3. من 600 إلى 999 م (أو 10-14 دقيقة سيرا على الأقدام)	3
4. 1 كم أو أكثر (أو على الأقل 15 دقيقة سيرا على الأقدام)	4

كم من حافلة يجب عليك ركوبها من أجل الوصول لعملك ؟ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐

Glossaire

Occupant : Utilisé par de nombreux auteurs, ce terme signifie la population résidente dans un périmètre spatial donné. Pour la consommation de l'énergie, il signifie le ménage rattaché à un compteur électrique.

Maitrise de l'énergie : L'ensemble des actions menées pour la mise en place des stratégies d'efficacité énergétique. La loi 99-09 portant sur la maitrise de l'énergie définit en son article 2 la maîtrise de l'énergie comme « *l'ensemble des mesures et des actions mises en œuvre en vue de l'utilisation rationnelle de l'énergie, du développement des énergies renouvelables et de la réduction de l'impact du système énergétique sur l'environnement* ».

Potentiel de maitrise de l'énergie interprète l'ensemble des actions possibles, suivant lesquelles des économies d'énergies pourraient être obtenues.

Déterminant : Constitue toute variable ayant un effet déclencheur et significatif sur le phénomène observé, et en l'occurrence, la consommation de l'énergie. (CNRTL.fr).

Critère : Élément de référence permettant d'estimer la variation du phénomène observé (CNRTL.fr).

Paramètre : Ce terme renvoie aux Variables susceptibles de recevoir une valeur constante pour un cas déterminé et en fonction desquels, il est possible d'ajuster le phénomène observer (en l'occurrence, la maitrise de l'énergie). (CNRTL.fr)

Variables : Renvoie à tout terme ou phénomène observable auquel on peut attribuer différentes valeurs prises dans un ensemble. (CNRTL.fr)

Indicateur : Traduit un phénomène en une évaluation permettant la comparaison (Boutaud : 2005)

Efficacit énergétique : (Directive 2006/32/Ce⁷⁹). Si l'on suit la définition du parlement européen de l'efficacité énergétique, elle se traduit comme « *le rapport entre les résultats, le service, la marchandise ou l'énergie que l'on obtient et l'énergie consacrée à cet effet* : « *amélioration de l'efficacité énergétique* », un accroissement de l'efficacité énergétique dans les utilisations finales à la suite de modifications d'ordre technologique, comportemental et/ou économique » (pp 4-5).

Efficience énergétique : Constitue l'état d'efficacité maximale.

L'intensité énergétique : Exprime la quantité d'énergie nécessaire pour produire de la valeur ajoutée, il est exprimé en tonne équivalent pétrole (Tep) par 1000\$. Plus l'intensité énergétique est importante, plus grande sera la fragilité économique du pays considéré. (Aprue : 2012).

Empreinte écologique : Est un concept défini comme la surface nécessaire pour pourvoir aux besoins d'une population donnée et absorber ses déchets (Boutaud : 2005). En d'autres termes, l'empreinte écologique est le seuil de reproductibilité des ressources ou de la biocapacité.

Volume passif : Permet de prédire les zones qui, potentiellement, peuvent être chauffées, rafraichies et éclairées naturellement. Le volume passif est calculé comme le volume représentant la profondeur de deux fois la hauteur de l'habitation, souvent considéré comme 6 mètres.

Tissu urbain : Métaphore faisant référence au tissage et à la biologie, le tissu « de la ville » résulte de l'imbrication de 3 niveaux : le réseau des voies, le parcellaire et les constructions. (Phillipe Garvy-Lambony et al : 2001 : 35).

⁷⁹ Parlement Européen Et Du Conseil, (2006), Directive 2006/32/Ce relative à l'efficacité énergétique dans les utilisations finales et aux services énergétiques et abrogeant la directive 93/76/CEE du Conseil, France.

Tableau: Synthèse des recherches identifiées en Algérie portant sur la maîtrise de l'énergie. (Source : élaboré par S.Boukarta)

Catégorie	Auteur(s) et étude	Approche et Zone climatique	Méthode et paramètres	Résultats et limites
Législation	Ministère de l'habitat (1997), DTR C3-2 et C3-4, Réglementation thermique des bâtiments d'habitation Règles de calcul des déperditions calorifiques.	Approche : normative. ZC : Toutes les zones climatiques.	Méthode : Le DTR s'appuie sur un modèle simplifié statique dans le calcul des déperditions thermiques. Les paramètres utilisés : en utilisant les caractéristiques thermiques des éléments composant l'enveloppe du bâtiment, on procède aux calculs des déperditions de l'enveloppe du bâtiment à usage d'habitation en comparant la somme (déperdition de base) avec les déperditions de références.	L'application des DTR permet de vérifier la conformité du bâtiment à l'œuvre en le comparant avec les déperditions de référence. Son usage peut se faire via le site web http://reta.cder.dz/ Limites : C'est une méthode simplifiée. L'utilisation des DTR est obligatoire depuis l'an 2000 mais ils ne sont pas appliqués. La méthode statique ne permet pas une appréciation précise de l'évolution de la température intérieure car elle se base sur l'hypothèse considérant la température intérieure d'un moment donné comme indépendante de la température intérieure quelques instants plutôt. Méthode ne prenant pas en considération les effets microclimatiques. Application limitée à quelques projets pilotes.
	MATEV (2015), GUIDE POUR UNE CONSTRUCTION ECO-ENERGETIQUE EN ALGERIE.	Approche : informative ZC : toutes les zones climatiques.	La publication se présente comme un guide aidant les professionnels du bâtiment à comprendre l'introduction de l'efficacité énergétique dans le bâtiment Paramètres : une batterie d'indicateur, tel que le coefficient de transmission U, la compacité, le taux de vitrage et orientation.	Le Guide présente des principes de l'architecture bioclimatique et propose des critères (14) de l'efficacité énergétique dans le bâtiment dans le cadre d'un concours d'architecture qui constitue la principale innovation du document. Application des orientations sous forme de projet pilote. Limites : Proposition d'un coefficient K (ou U) compris entre 0.25 et 0.5 w/m ² °C alors que ces valeurs ne sont applicables que dans les pays fort industrialisés. Absence de proposition à portée normative. Le volet « impact de l'environnement urbain » n'est pas considéré dans le guide.
	Instrument d'urbanisme (POS) Décret 91-175 fixant les	Approche : normative ZC : la zone du littoral et la zone subhumide	Méthode : règles d'implantation des bâtiments pour assurer un bon niveau	L'énergie n'est pas directement évoquée, mais elle est introduite indirectement via les orientation de l'implantation de l'article 21 à 35 du décret 91-175 (COS,

	règles d'urbanisme.	générales	d'hygiène. Paramètres utilisés : le prospect, le COS et le CES, taux de vitrage.	CES, taux de vitrage) et l'obligation d'un minimum d'ensoleillement (2 heures par jour pendant deux cents jours) . Le respect de l'ensoleillement est quasiment accordé à des prospects de 1. Limites : L'ensoleillement n'est obligatoire que pour la moitié des pièces (art 22) L'énergie n'est pas traitée d'une façon directe. La règle de l'ensoleillement n'est pas faite par les services compétents. La mobilité n'est pas optimisées d'une façon directe.
	Décret 14-27 fixant les prescriptions urbanistiques, architecturales et techniques applicables aux constructions dans les wilayas du Sud.	Approche : normative. ZC : Aride.	Méthode : réglementations urbanistique et architecturales. Paramètres : compacité (volume surfacique), orientation, taux de vitrage, le patio, couleur, hauteur des bâtiments, matériaux de constructions.	Résultats : les prescriptions urbanistiques, architecturales et techniques applicables aux constructions dans les wilayas du Sud : composition compacte ; adaptation de l'espace public au contexte naturel, climatique et social; organisation introvertie des bâtiments ; L'orientation préférentielle des bâtiments est nord-sud avec Est Ouest en mitoyenneté ; minimiser les surface vitrée ; utilisation des matériaux locaux à forte inertie l'utilisation des couleurs clair à ocre est recommandée ; limitation du gabarit à R+2 maximum. Limites : Les wilayas dites du Sud ne sont pas encore fixées par le décret ministériel ; Approche qualitative et Absence de prescriptions chiffrées. La densité (COS et CES) n'est pas abordée. Application limitée du décret. La mobilité n'est pas considérée.
Occupant	Boukarta & Berezowska-Azzag (2018)	Approche : exploratrice ZC : Subhumide (Médéa) Espace étudié : 3 logements.	Méthode : enquête, échantillon, statistique. Paramètre : Critères Socio-économiques (revenu, Taux d'occupation par logement, nombre de ménages par logement), Indice de performance	Résultats : l'indice de performance énergétique résultant des modifications spatiales apportées par les ménages peut être positif ou négatif. Les critères les plus influents selon l'étude sont selon (i) le registre socio-économique : le revenu, et le taux d'occupation par logement, (ii) le registre physique : la qualité de l'enveloppe et le taux de surfaces déperditives. Limites :

		énergétique, GES Matériaux (l'isolation), la compacité. Portée : qualitative .	Le nombre de l'échantillon limité à trois cas d'étude ne permet pas une appréciation précise de l'influence de tous les paramètres.
BELAKEHAL & al (2009).	Approche : exploratrice ZC : Aride	Méthode : Evaluation post-occupationnelle d'un immeuble de bureau (questionnaire, carte comportementale, relevé, photométrie), Analyse statistique (analyse en correspondance multiple). Portée : qualitative.	Résultats : conceptualisation d'un modèle de l'ambiance lumineuse basée sur l'occupant de l'espace. Le modèle développé a révélé des corrélations entre les 4 concepts composant le modèle : (i) valeurs et attitudes ; (ii) contexte social et climatique ; (iii) conformité architecturale ; (iv) l'environnement lumineux. Les méthodes statistiques linéaires ne sont pas applicables à cette approche et L'importance de chaque concept est appréciée qualitativement. L'éclairage naturel est considéré selon une approche qualitative basée sur la perception des occupants. Limites : L'énergie n'est pas introduite directement dans la présente étude. Le décalage horaire dans la prise des mesures n'est pas abordée dans l'étude.
Amirat, El Hassar (2005)	Approche : exploratrice. ZC : littoral (Cheraga). Espace étudié : un logement de type F3.	Méthode : relevé, suivi expérimental in-situ poste par poste de la consommation électrique en période divers. Un ménage représentatif (F3, 5 membres, et taux d'équipement représentatif). Portée : quantitative.	Résultats : l'importance de chaque poste de consommation : le froid, l'audio-visuel, l'éclairage, bureautique, machine à laver. Tendance linéaire de la consommation électrique sauf pour la machine à laver. Economie potentielle de 15 %, soit 339kwh/an, d'énergie relative à l'usage des lampes à basse consommation avec un temps d'amortissement allant de 3 à 4 ans. Limites : Le poste du chauffage, climatisation en période d'été et les critères socio-économiques n'ont pas été introduits dans la présente étude.
KORICHI, Rouag-saffidine Sahnoune (2007)	Approche : exploratrice évaluative ZC : semi-aride	Méthode : Evaluation post-occupationnelle d'un bâtiment de sport (photographie, vidéo, ,	Résultats : Proposition d'une méthodologie d'analyse combinant outils à portée quantitative et qualitative.

Echelle du bâtiment	du	Hocine BELAHYA , Abdelghani BOUBEKRI and Abdelouahed KRIKER (2017).	Sport building	observation, questionnaire), interview,	Limites : L'article ne présente aucun cas d'étude.
			Approche: exploratrice et Evaluative. ZC: Aride (Ouargla). Espace étudié : Archétype (Design of experiment). Procédé : passif.	Portée : qualitative. Méthode : Co-Simulation thermique dynamique sous TRNSYS 17 et Excel en utilisant Python comme langage multiplateformes. Portée : quantitative.	Résultats : Une série de simulation a classé les paramètres les plus influents comme suit : (i) la superficie, (ii) le facteur forme plus important pour le chauffage que pour le rafraichissement. (iii) l'influence de la transmission thermique des murs est importante pour le chauffage (-10kwh/m².an) que pour la climatisation. (iv) l'influence de la transmission thermique du sol agit positivement pour le chauffage (-8kwh/m².an) et pour la climatisation. Limite : L'impact de l'occupant a été fixé et donc pas considéré comme variable. L'archétype n'a pas été représenté dans la communication.
		Missoum, M., Hamidat, A., Imessad, K., Bensalem, S., & Khoudja, A. (2016).	Approche : Evaluative. ZC : Humide (Alger). Espace étudié : maison bioclimatique prototype de Souidania. Procédé : actif.	Méthode : Simulation sous TRNSYS et HOMER. Portée : quantitative.	Résultats : L'Objectif de maison à zéro énergie est atteint avec une puissance PV de 0.8 KW. Le coût élevé des PV et l'amortissement lent de l'investissement limite la rentabilité du procédé. Limites : La maison considérée dans l'étude est déjà conçue comme prototype « efficient énergétiquement » ce qui impliquerait plus de puissance de PV pour atteindre l'objectif de ZE pour des maisons dites conventionnelles.
		Belkacem, N., Loukarfi, L., Missoum, M., Naji, H., Khelil, A., & Braikia, M. (2017).	Approche : Evaluative. ZC : Humide (Alger). Espace étudié : maison bioclimatique prototype de Souidania. Procédé : mixte (passif et actif).	Méthode : expérimentale par mesure in-situ et TRNSYS. Portée : quantitative.	Résultats : Les simulations montrent que la demande énergétique pour le chauffage peut être réduite à 48%. Le système solaire-actif (plancher réversible DSF) peut à lui seul générer 67.74% de la demande énergétique pour le chauffage. L'augmentation du taux de vitrage de 10 à 50% par rapport au mur, pour la chambre orientée sud permet de réduire drastiquement la demande énergétique pour le chauffage. Après 50% la demande énergétique baisse lentement.

			La ventilation nocturne permet de réduire la demande énergétique pour la climatisation. Limites : L'article porte sur les maisons passives rarissimes en Algérie. L'amortissement de l'investissement n'est pas inclus dans l'étude.
Belkacem, N., Loukarfi, L., Khelil, A., Naji, H., Braikia, M., & Missoum, M. (2015).	Approche : Evaluative et exploratrice. ZC : Humide (Alger). Espace étudié : maison bioclimatique prototype de Souidania. Procédé : mixte (passif et actif).	Méthode : Simulation sous le logiciel Fluent. Portée : quantitative.	Résultats : Le plancher réversible étudié chauffe l'intégralité de la maison d'une façon homogène et contribue à son rafraichissement également en été. Le plancher réversible procure un confort thermique supérieur qu'autres systèmes conventionnels. Limites : La faisabilité du système en termes d'amortissement du coût de l'investissement n'est pas étudiée.
Derradji, L., Imessad, K., Amara, M., & Errebai, F. B. (2017).	Approche : Evaluative. ZC : Humide (Alger). Espace étudié : maison bioclimatique prototype de Souidania. Procédé : passif	Méthode : Expérimentale et simulation sous TRNSYS 16. Portée : quantitative.	Résultats : L'épaisseur optimale de l'isolant (polystyrène expansé) pour réduire de 0.5 à 1.5 \$/m ² est comprise entre 1 et 2.5cm pour un taux de vitrage de 10% et 50% respectivement. Des économies potentielles en énergie nécessaire pour le chauffage et la climatisation pouvant atteindre les 70% en utilisant l'inertie des matériaux avec une isolation extérieure optimale. Limites : L'amortissement de l'investissement n'est pas donné dans l'article.
Fezzioui.N, Mébirika, B., Belkacem, D., & Claude-Alain, R. (2016).	Approche : Exploratrice et Evaluative. ZC : Aride (Kenadsa). Espace étudié : maison traditionnelle. Procédé : passif.	Méthode : Mesure in situ et Simulation thermo-aéraulique sous TRNSYS 16. Portée : quantitative.	Résultats : L'adobe donne plus d'heure de confort que le parpaing souvent utilisé dans le sud. La surface du patio (2*2) a permis de réduire l'amplitude de température de 3.97 à 2.11°C par rapport à une ouverture de 1*1. Ceci est dû à l'amélioration de la ventilation nocturne, et la température ne descend pas à moins de 31.47°C en juillet et août en changeant la surface

				ouverte du patio. La ventilation obtenue par ouverture des chambres sur le patio, l'ouverture du patio vers « Skifa » et vers l'escalier menant à la terrasse permet une meilleure ventilation et un meilleur confort. Limites : L'environnement « immédiat » n'est pas considéré dans l'étude. Le cas d'étude est plutôt considéré comme une maison rurale.
Matériaux	Laoufi, L., Senhadji, Y., & Benosman, A. S. (2016).	Approche : Explorative et Evaluative. ZC : non spécifiée. Procédé : passif.	Méthode : Expérimentale sous forme d'essai en laboratoire pour tester la conductivité thermique du mortier en lui ajouter de la pouzzolane (très abondante à Beni saf) à hauteur de 0, 10, 20 et 30%. Portée : quantitative.	Résultats : Le mortier intégrant la pouzzolane dans sa composition présente une résistance meilleure contre la corrosion et une conductivité thermique très faible pouvant améliorer le comportement thermique des bâtiments. Limites : --
	Ghedamsi, R., Settou, N., Saifi, N., & Dokkar, B. (2014).	Approche : Explorative et Evaluative. ZC : Aride, Ouargla. Procédé : passif. Période d'étude : été.	Méthode : modélisation numérique sous Matlab 7. Portée : quantitative.	Résultats : L'ajout du Chlorure de calcium hexahydraté (PCM, matériaux à changement de phase) au plâtre avec une concentration de 15% à un mur en brique dans la zone aride d'Ouargla permet de réduire à presque zéro la demande énergétique due à la climatisation et la température intérieure des parois dans toutes les directions n'excède pas les 28°C, température du confort. Le temps de retour de l'investissement est 10.51, 9.14 et <u>8.51 pour les façades orientées sud/ouest, Est et Nord</u> respectivement. Limites : Le prix de l'électricité considéré dans l'étude est plus de 8Da/kwh alors que ce prix n'est considéré que lors des heures de pointe de 17h à 21h.
Orientation	Hamdani, M., Bekkouche, S. M. A., Benouaz, T., & Cherier, M. K. (2012).	Approche : Explorative et Evaluative. ZC : Aride, Ghardaia. Procédé : passif.	Méthode : simulation sous Matlab et expérimentale in-situ. Portée : quantitative.	Résultats : L'isolation des murs extérieurs est une des meilleures stratégies pour réduire la demande énergétique des bâtiments en saison froide ou chaude.

		Période d'étude : été.	Les mesures prises de la température démontrent que l'inertie des matériaux permet de contrôler les amplitudes en termes de températures. L'orientation a peu d'effet sur la température intérieure pour les bâtiments isolés thermiquement. Limites : --	
Echelle du tissu urbain Dimension microclimatique	Missoum, A., Slimani, A., Khelfaoui, R., Fezzioui, N., & Belarbi, R. (2009).	Approche : exploratrice et évaluative. ZC : zone aride Espace étudié : rue canyon. Dimension : ventilation urbaine	Méthode : approche analytique sous le code Computational fluid dynamic (CFD).	Résultats : identification de l'impact des décharges de chaleur dues à la climatisation en terme de vitesse de l'air et condition thermique. Limites : l'étude s'est portée sur une rue canyon avec une seule orientation. L'impact des conditions microclimatiques dues à la climatisation sur la consommation énergétiques des bâtiments n'a pas été identifié.
	Ballout Amor , (2016).	Approche : exploratrice ZC : semi-aride (sétif) Espace étudié: Square de l'indépendance (ain elfouara) Objet de l'étude : confort thermique	Méthode : mesure in-situ et simulations sous Envi-met. Portée : Qualitative et quantitative.	Résultats : La densité végétale (16.3%) et l'effet de l'eau (3.7% de la surface du square) ont réduit la température de 3.7°C. La vitesse du vent mesurée in situ montre une variation entre 0.25 et 0.6 M/s alors que les simulations montrent une stabilité de la vitesse le long de la journée entre 0.4 et 0.5. cette différence représente une des limites du modèle Envi-met qui ne considère pas aussi les apports anthropique. Sous simulations, l'augmentation de la densité végétale de 16.3% à 34.92% et la surface de l'eau de 3.7% à 13.34% <u>permet de réduire la température de l'air de 1.61 à 3.43°C.</u> Et la période du confort s'est élevée à 30% au lieu de 23% et la période d'inconfort s'est trouvée réduite de 48% à 29%. Limite : --
	Boukhelkhal, I., & Bourbia, P. F. (2016).	Approche : exploratrice, évaluative. ZC : Aride Espace étudié : 06 rues	Méthode : mesure et simulation sous envi-met, Portée quantitative	Résultats : Le ratio H/L des rues, la végétation et matériaux de construction peuvent améliorer la qualité du confort thermique dans une zone aride (de 18% à 42 % de

	à ksar taflilet (Ghardaia).		confort).
	Objet de l'étude : confort thermique		Limite : L'impact des améliorations microclimatique sur la demande énergétique des bâtiments n'a pas été traité. L'utilisateur de l'espace n'a pas été introduit dans l'étude.
KHelifi, L, Rafik, B., & Djaffar, S. (2015).	Approche : exploratrice, évaluative et prédictive ZC : Aride Espace étudié : rue couverte. Objet d'étude : ventilation urbaine	Méthode : mesures et simulation sous Fluent 6.3.26 utilisant le code Computational fluid dynamic (CFD). Portée : quantitative.	Résultats : Le passage couvert peut réduire jusqu'à 3° la température ambiante de l'air et de 6 à 9° la température de surface de l'enveloppe lui correspondant. Le mouvement d'air est fortement fluctuant à l'intérieur du passage couvert. Limites : les températures entre la rue à ciel découvert, le passage couvert et l'intérieur de la maison ont été mesurées sur site mais non présentées dans l'article.
Bourbia, F., & Awbi, H. B. (2004).	Approche : exploratrice. ZC : Aride (El oued). Espace étudié : 6 rues canyon. Objet de l'étude : confort thermique	Méthode : Mesures in-situ, température de surface, température ambiante. Portée : quantitative.	Résultats : La géométrie du canyon et SVF (0.16 et 0.79) a un impact direct sur la température de surface du canyon considéré. La température ambiante connaît peu de variation. La température augmente en été d'autant plus en canyon orientée Est-Ouest que Nord-Sud. Limites : La température à l'intérieur des maisons n'a pas été mesurée. L'impact du canyon sur la demande énergétique des habitations n'a pas été considéré.
Bencheikh, Ameer. (2012).	Approche : exploratrice. ZC : Climat aride. Espace étudié : palmeraie. Objet de l'étude : Confort thermique	Méthode : mesure in-situ. Portée : quantitative.	Résultats : La palmeraie présente une température inférieure de 5 à 10° par rapport aux autres configurations (ksar et extension). Limites : La densité optimale de la végétation n'a pas été explorée. L'impact de la variation thermique due à la végétation de la palmeraie n'a pas été traité.
Bourbia, Boucheriba et Tebbani (2005),	Approche : exploratrice. ZC : semi-aride (Constantine).	Méthode : par simulation sous Envi-met. Portée : qualitative.	Résultats : Peu de variation dans la température ambiante selon la variation du SVF (0.14 et 0.3) et H/w (3.5 et 1.5).

		Espace étudié : 2 configurations de Rue selon leurs SVF, H/w pour la même orientation. Objet de l'étude : confort thermique	La différence de température entre la toiture et le canyon est aussi faible évaluée à presque 1 °C. Le confort thermique au niveau du canyon est d'autant plus sensible au ratio H/w qu'à l'orientation. Limites : Seulement deux configurations de canyon ont été traité dans la communication. L'impact du ratio h/w et SVF sur la demande énergétique du bâtiment n'est pas traité.
	Ali Toudert , Mayer, 2003, Street design and thermal comfort in hot and dry climate,	Approche : exploratrice. ZC: Aride (Ghardaia). Espace étudié; Rue canyon. Objet de l'étude : confort thermique	Méthode : simulations sous Envi-met en variant, H/W, galerie et porte-à-faux, et orientation E-O et NE-SO Portée : quantitative. Résultats : L'effet de l'ombre pour l'orientation E-O du canyon n'est effective qu'à partir H/W=4 et plus. L'orientation NE-SO donne plus de temps de confort à la rue que l'orientation E-O. Limites : L'aspect énergétique des bâtiments bordant le canyon n'a pas été traité.
	Yousfi, F., Bourbia, F., & Ballout, A. (2017).	Approche : exploratrice. ZC: Semi-aride Espace étudié : tissu ancien compact et nouveau éclaté (Souika et koudiat Aty et le quartier Boussouf) Objet de l'étude : confort thermique	Méthode : Questionnaire et utilisation du logiciel Envi-met. Portée qualitative et quantitative. Résultats : La température moyenne radiante (TMR) est réduite en tissu ancien compact (46,5-54.15°C) alors qu'elle enregistre une augmentation au niveau des tissus nouveaux éclatés(Boussouf) avec une TMR de 70,9°C. Limite : L'étude ne présente pas de mesures in-situ. L'impact de la forme urbaine sur le comportement thermique des bâtiments n'est pas considéré dans l'étude.
	Atik, T, Mehaoued et Boussoualim (2014).	Approche : exploratrice. ZC : humide. Espace étudié : fragment urbain. Objet de l'étude : Confort thermique	Méthode : Simulation sous Envi-met 3.0 et PET_neu. Portée : Quantitative. Résultats : La toiture végétale a permis de réduire la température de 0.4°C par rapport à une toiture minéralisée. Le ratio Toiture végétale/surface du site est l'indicateur le plus marquant. Limite : L'impact de la variation du ratio Toiture végétale/surface du site n'est pas traité.
Ventilation urbaine	Bouketta, S., & Bouchahm, Y. (2012).	Approche : exploratrice. ZC : humide. Espace étudié : deux	Méthode : Mesures in-situ, et simulation sous Envi-met. Portée : quantitative. Résultats : La disposition ouverte du plan de masse en zone à altitude (+700 m) est déconseillée. Par contre, elle est conseillée en

		fragments urbains à jijel. Objet de l'étude : ventilation urbaine.	zone à faible altitude (+200m) près de la mer. La présence de la végétation permet de réduire la température de l'air. Limite : L'impact de la variation végétation (non caractérisée) sur la température n'est pas traité.
	BOUKARTA, S.; MOKHTARI, (2017)	Approche: exploratrice et prédictive. ZC: Humide (Oran). Espace étudié : deux quartier à oran Objet de l'étude : le microclimat	Méthode : Simulations sous Ecotect, et utilisation des modèles analytique pour l'analyse de la ventilation urbaine. Portée : quantitative. Résultats : La méthode proposée permet de caractériser le potentiel énergétique des formes urbaines à l'échelle du quartier en se basant sur l'analyse multicritère comprenant à la fois l'étude de la ventilation urbaine, l'ensoleillement et l'énergie anthropique ainsi que le risque de pollution. Limite : L'énergie anthropique a été considérée qualitativement dans l'étude.
Ilot de Chaleur Urbaine ICU	Boukhabla, M., Alkama, D., & Bouchair, A. (2013).	Approche: exploratrice et prédictive. ZC: Aride (Biskra). Espace étudié : quartier (Biskra). Objet de l'étude : ICU	Méthode : campagne de mesures in-situ, Portée : quantitative. Résultats : Les résultats des mesures montrent l'importance de la morphologie urbaine dans la formation du phénomène de l'ICU. Limites : --
	Bouattou, Asma (2016), Mémoire de magister.	Approche : exploratrice, évaluative et prédictive. ZC: Humide Espace étudié: (Wilaya d'Alger)	Méthode : proposition de méthodologie composée de deux systèmes, climatique et urbain. Portée: Qualitative. Résultats: <u>Le périmètre de vulnérabilité touche principalement les villes périphériques.</u> Limite: L'approche ne met pas en exergue l'importance des paramètres choisis et leurs interactions dans le système proposé.
	BOUKARTA, BEREZOWSKA-AZZAG (2017-a)	Approche: Exploratrice. ZC: Humide Espace étudié: Wilaya d'Alger	Méthode : utilisation des systèmes d'information géographique (SIG) et méthode statistique. Portée : quantitative et qualitative. Résultats : Les communes centrées et les plus denses sont les communes qui consomment le moins d'énergie et émettent le moins de Gaz à effet de serre (GES) dans l'espace résidentiel. Limite : L'effet direct et indirect de la densité n'a pas été évalué

				dans l'étude.
	Haine, K., & Blumberga, D. (2016).	Approche : exploratrice. ZC : Semi-aride. Espace étudié : commune Ibnbadis (constantine).	Méthode : proposition d'une méthode d'intégration du potentiel solaire en utilisant SIG (Arcgis) et l'évaluation du Solaire photovoltaïque (PV).	Résultats : L'intégration des panneaux photovoltaïque sur les toitures des immeubles peut couvrir la demande énergétique du parc résidentiel de la commune d'Ibnbadis. Limites : L'étude introduit directement la consommation moyenne (kwh/inh.y) comme base dans les calculs. L'étude de faisabilité et d'amortissement n'est pas fournie. La réhabilitation énergétique n'est pas introduite dans l'étude.
	Ali-Toudert, F. (2000).	Approche : exploratrice, et évaluative ZC : non définie. Objet de l'étude : Proposition d'intégration climatique en planification urbaine.	Méthode : Analytique. Portée : réglementaire.	Résultats : la compréhension du rôle des facteurs de l'environnement dans la modification du climat local et l'aspect géométrique de la forme urbaine pour le contrôle climatique. L'intégration climatique dans la planification urbaine par : (i) connaissance du contexte climatique, (ii) localisation de la ville pour exploiter le potentiel climatique et éviter les risques ; (iii) la perméabilité de la ville pour le contrôle de la ventilation et l'ensoleillement ; (iv) Usages des sols par l'affectation étudiée des activités ; (v) le paysagisme : <u>comprenant les orientations principales quant à l'usage de la végétation pour améliorer le climat et réduire les effets de l'ICU</u> ; (vi) Configuration urbaine : en introduisant l'aspect géométrique du tissu urbain. Limites : La méthodologie proposée ne prend pas en considération l'occupant comme variable.
Approche multiscalaire	Boukarta soufiane , berezowska-azzag ewa ", (2017-b)	Approche : exploratrice et prédictive. ZC : Sub-humide. Espace étudié : commune de Mouzaia. Objet d'étude : L'îlot comme échelle	Méthode : modélisation par régression linéaire sous SPSS. Portée : quantitative.	Résultats : Il est possible de prédire la consommation énergétique d'un ensemble résidentiel sur la base d'une batterie d'indicateurs géométriques et physiques considérés à l'échelle de l'îlot. Limites : L'occupant n'a pas été caractérisé et n'a pas été introduit

				dans l'étude.
Echelle du territoire	Ghedamsi, R., Settou, N., Gouareh, A., Khamouli, A., Saifi, N., Recioui, B., & Dokkar, B. (2016).	Approche : exploratrice et prédictive. ZC : toutes les zones. Espace étudié : le territoire algérien. Objet d'étude : Le parc résidentiel	Méthode : modélisation thermique en utilisant la méthode Degré jour, Système d'information géographique.	Résultats : Cuisson, chauffage et l'eau chaude sont les activités les plus consommatrices dans le résidentiel en Algérie. La consommation du résidentiel en Algérie selon cette étude augmentera de 73.23 Twh en 2008 à plus de 179Twh en 2040. Sept zones climatiques ont été identifiées sur la base de la consommation énergétique où la zone 7 s'est révélée comme la plus énergivore représentant plus de 70% de consommation énergétique nationale car c'est la zone la plus dense. Limites : La modélisation s'est faite sur la base d'une estimation simulée de la demande énergétique et non réelle. Un seul scénario a été prévu dans la prédiction de la consommation énergétique horizon 2040.

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE

1.	CONTEXTE DE LA RECHERCHE	1
2.	PROBELMATIQUE ET HYPOTHESES DE LA RECHERCHE	5
3.	OBJECTIF DE LA RECHERCHE	6
4.	METHODOLOGIE DE RECHERCHE	7
5.	STRUCTURATION DE LA THESE.....	9

PARTIE I :

LE CONTEXTE ENERGETIQUE NATIONAL, APPORTS ET PRECISIONS CONCEPTUELLES

CHAPITRE 1 : Le contexte énergétique en Algérie

SECTION 1A.

RETROSPECTIVE ET PROSPECTIVE DE LA POLITIQUE ENERGETIQUE EN ALGERIE	13

1.1.	Principales phases de développement du secteur des hydrocarbures et illusion de la richesse pétrolière	13
1.2.	Modèle de consommation énergétique nationale.....	17
1.2.1.	Evolution de la consommation finale de l'énergie en Algérie par produit et par secteur.....	17
1.2.2.	Consommation finale par secteur d'activité.....	17
1.2.3.	Consommation par secteur et par produit	18
1.2.4.	Evolution de la consommation énergétique des ménages.....	21
1.2.5.	Répartition de la consommation de l'énergie dans le secteur résidentiel	21
1.2.6.	Croissance de la demande et tarissement de l'offre énergétique.....	22
1.3.	Changement climatique en Algérie, entre vulnérabilité et stratégies d'atténuation	24
1.3.1.	Evolution des émissions de gaz à effet de serre en Algérie.....	26
1.3.2.	Empreinte écologique en Algérie	27
1.3.3.	De l'état de fait climatique aux solutions	29
1.4.	Vers une planification énergétique	30
1.4.1.	Stratégies déployées en Algérie pour atténuer la crise énergétique	31
1.4.2.	Barrières à la mise en œuvre du PNME	43
1.4.3.	Analyse AFOM de la politique énergétique sous la grille d'analyse thématique.....	48

SECTION 1B.

ETAT DES LIEUX DE LA RECHERCHE EN ENERGETIQUE DU BATIMENT ET URBAINE EN ALGERIE.....	50

1.5.	Méthode de la revue de la littérature et synthèse des recherches portant sur la maîtrise de l'énergie en Algérie.....	50
1.6.	Etat des savoirs de la recherche portant sur l'énergie.....	52
1.6.1.	Cadre législatif	52
1.6.2.	Catégorie de l'occupant	53
1.6.3.	Echelle du bâtiment et du tissu urbain.....	54
1.6.4.	Echelle de la ville et du territoire.....	55

1.6.5.	Secteur de technologie et la politique énergétique	57
1.7.	Analyse AFOM de la revue de la littérature scientifique portant sur la maîtrise de l'énergie	57
1.8.	Maîtrise de l'énergie comme problématique de maîtrise d'œuvre urbaine.....	59
	Conclusion du premier chapitre.....	60

Chapitre 2

FORMES URBAINES ET MAITRISE DE L'ENERGIE, APPORTS THEORIQUES ET PRECISIONS CONCEPTUELLES

2.1.	Forme urbaine comme un fait de représentation du système urbain	63
2.2.	Forme urbaine comme matrice structurée et structurante des pratiques de consommation d'énergie.	
		67
2.2.1.	Définition de l'énergie	67
2.2.2.	Efficacité, efficience, maîtrise et transition énergétique : précisions conceptuelles	67
2.3.	Forme urbaine et énergie, essai d'identification des rapports potentiels	68
2.3.1.	Environnement bâti et énergie :	69
2.3.1.1.	Echelle du bâtiment	70
2.3.1.2.	Echelle urbaine	71
	a. Ensoleillement	72
	b. Forme urbaine, flux et énergie	80
	c. Microclimat urbain et énergie.....	84
2.3.2.	Forme urbaine, mobilité et énergie.....	87
2.3.3.	Occupant et énergie	90
2.3.4.	Cadre réglementaire.....	92
	Conclusion du Deuxième Chapitre.....	93
	Conclusion de la Première Partie.....	97

Partie II : Etat de l'art et positionnement méthodologique

Chapitre 3

CARACTERISATION ENERGETIQUE DE L'ESPACE RESIDENTIEL

3.1.	Méthode de la revue de la littérature scientifique:.....	99
3.2.	Etudes liées aux effets de l'environnement bâti sur la demande énergétique.....	105
3.2.1.	Facteurs agissant sur la demande énergétique à l'échelle macro.....	105
3.2.2.	Impact des caractéristiques des bâtiments sur la demande énergétique.....	108
3.2.3.	Impact de l'enveloppe des habitations sur la demande énergétique	112
3.3.	Impact des facteurs socio-économiques sur la consommation de l'énergie.....	113
3.3.1.	Facteurs liés à l'occupation de l'habitation	114
3.3.2.	Impact de l'âge sur la consommation de l'énergie	116
3.3.3.	Impact de statut de l'occupation sur la consommation d'énergie	119
3.3.4.	Impact du genre et du statut civil des ménages sur la consommation d'énergie	120
3.3.5.	Impact de l'éducation, conscience et la trajectoire familiale sur la consommation d'énergie	121
3.4.	Facteurs liés aux équipements de l'habitation	123
3.4.1.	Impact des appareils ménagers sur la consommation de l'énergie	123
3.4.2.	Impact de l'usage des appareils ménagers sur la consommation de l'énergie	130
3.5.	Synthèse des paramètres de caractérisation énergétique des bâtiments résidentiels	134

Chapitre 4

CARACTERISATION ENERGETIQUE DE LA MOBILITE

4.1. Impact de l'environnement bâti (les 5D)	143
4.1.1. Densité	143
4.1.2. Diversité	146
4.1.3. Design	149
4.1.4. Distance aux transports en commun TC	152
4.1.5. Distance de la destination	153
4.2. Impact des données socio-économiques	155
4.2.1. Coût du déplacement motorisé	155
4.2.2. Impact du revenu	155
4.2.3. Impact de la taille des ménages, statut marital, nombre d'enfants par ménage et l'âge	157
4.2.4. Impact de l'occupation du ménage sur la mobilité	160
4.2.5. Impact du genre sur la mobilité	160
4.2.6. Impact de la possession des voitures et du permis de conduire sur la mobilité	161
4.2.7. Impact du niveau d'éducation et d'attitudes sur la mobilité	162
4.3. Synthèse de la caractérisation énergétique de la mobilité	163
SYNTHESE DE L'ETAT DE L'ART ET POSITIONNEMENT METHODOLOGIQUE	169
4.4. Indicateurs retenus expliquant la consommation d'énergie dans le bâtiment	172
4.4.1. Indicateurs macro	172
4.4.2. Indicateurs architecturaux liés à la forme et à l'enveloppe	172
4.4.3. Indicateurs liés à l'occupation de l'habitation et statut de l'occupant	173
4.4.4. Indicateurs liés aux appareils ménagers	173
4.4.5. Indicateurs liés à la densité urbaine	174
4.5. Indicateurs retenus expliquant la consommation de l'énergie par la mobilité	174
4.5.1. Indicateurs retenus liés au registre de la diversité	174
4.5.2. Indicateurs retenus liés au registre de la distance au transport en commun	174
4.5.3. Indicateurs liés au registre de la distance de la destination	175
4.5.4. Indicateurs retenus liés au coût du déplacement et la possession de voitures	175
4.5.5. Indicateurs retenus liés au registre du design	175
4.5.6. Indicateurs influant le volume de mobilité et la consommation d'énergie des bâtiments	176
4.6. Synthèse des indicateurs retenus et construction de la méthode d'analyse de sensibilité	176
4.6.1. Tableau de bord des indicateurs retenus pour le cas d'étude de Djelfa	176
4.6.2. Construction de la méthode d'analyse de sensibilité	177
Conclusion de la Deuxième Partie	182

Partie III : Modèle local d'évaluation du potentiel de maîtrise de l'énergie en zone semi-aride

Chapitre 5

POTENTILE DE MAITRISE DE L'ENERGIE A L'ECHELLE DE LA COMMUNE DE DJELFA

SECTION 5A.	
POTENTILE DE MAITRISE DE L'ENERGIE A L'ECHELLE DE LA COMMUNE DE DJELFA	187
5.1. Identification du potentiel de maîtrise de l'énergie à l'échelle de la commune de Djelfa	189
5.1.1. Localisation géographique et étage climatique de la wilaya de Djelfa	189

5.1.2.	Collecte et gestion des données pour l'analyse	190
5.1.2.1.	Données de consommation d'énergie des communes	190
5.1.2.2.	Estimation de la consommation d'énergie pour 2008	190
5.1.2.3.	Gestion des données du RGPH 2008.....	192
5.2.2.	Analyse des données	193
5.2.2.1.	Analyse en composantes principales comme diagnostic de corrélations potentielles.....	193
5.2.2.2.	Analyse de corrélation bi-variée.....	197
5.2.3.	Discussion des résultats des corrélations bi-variées.....	198
5.2.4.	Analyse des pistes causales	201
5.2.4.1.	Estimation de l'élasticité de la consommation de gaz	202
a.	Indices d'ajustement	202
b.	Discussion des résultats	203
5.2.4.2.	Modélisation d'équation structurelle de la consommation d'électricité.....	205
a.	Indices d'ajustement	202
b.	Discussion des résultats	206
5.3.	Synthèse des constats relatifs à l'échelle de la commune	208

SECTION 5B.

POTENTIEL DE MAITRISE DE L'ENERGIE A L'ECHELLE DU BATIMENT A DJELFA	210
5.4. Méthode d'identification du potentiel de maitrise d'énergie des paramètres liés aux bâtiments ...	210
5.4.1. Présentation des données climatiques de la région semi-aride.....	211
5.4.2. Présentation du modèle générique	214
5.4.3. Variables potentielles liées aux bâtiments et variation paramétrique.....	215
5.4.4. Variation paramétrique	215
5.4.5. Protocole de simulation et résultats de la simulation thermique dynamique	218
5.5. Préparation de la base de données pour les analyses de sensibilité.....	219
5.6. Analyses de sensibilités.....	221
5.6.1. Identification des associations potentielles.....	221
5.6.2. Identification des corrélations potentielles	223
a. Corrélation bi-variée.....	224
b. Analyse en composante principale.....	225
5.7. Modélisation d'équation structurelle.....	229
5.7.1. Modèle de la demande énergétique due au chauffage.....	229
5.7.1.2.Discussion des résultats	231
5.7.2. Modèle de la demande énergétique due à la climatisation	232
5.7.2.2.Discussion des résultats	233
5.7.3. Modèle global	235
5.7.3.2.Discussion des résultats	236
5.8. Synthèse des effets et classement des variables explicatives du modèle.....	237
Conclusion du Cinquième Chapitre.....	239

Chapitre 6

POTENTIEL DE MAITRISE DE L'ENERGIE PAR LA MOBILITE

6.1. Développement de la commune de Djelfa	241
6.1.1. Croissance spatiale et démographique de la ville de Djelfa	242
6.1.2. Types d'habitations.....	245
6.2. Collecte des données liées à la mobilité résidentielle	250
6.2.1. Composition du questionnaire	250

6.2.2.	Déroulement de l'enquête	252
6.2.3.	Descriptif des données obtenues	253
6.2.4.	Calcul des variables.....	254
6.3.	Modélisation de la part modale des moyens de déplacement.....	256
6.3.1.	Analyse bi-variée.....	256
6.3.2.	Analyse en composante principale	258
6.4.	Modélisations par équation structurelle	261
6.4.1.	Modélisation de la part modale de la voiture particulière	261
a.	Indice d'ajustement.....	261
b.	Discussion des résultats	263
6.4.2.	Modélisation de la part modale du TC.....	266
a.	Indices d'ajustement	266
b.	Discussion des résultats	268
6.4.3.	Modélisation de la part modale de la marche à pied	269
a.	Indices d'ajustement	269
b.	Discussion des résultats	271
6.4.4.	Modélisation de la consommation d'énergie induite par la mobilité domicile-travail	273
a.	Indices d'ajustement du modèle.....	274
b.	Discussion des résultats	276
Conclusion du Sixième Chapitre.....		278
Conclusion de la Troisième Partie.....		281

Conclusion générale

1.	Retour sur les résultats de la recherche	287
1.1.	Intérêt et objectif	287
1.2.	Méthodes et résultats obtenus.....	287
2.	Opérationnalité des résultats :	293
3.	Limites et contraintes de la recherche	295
4.	Pistes de recherche future	295
Bibliographie.....		297
Liste des figures		311
Liste des tableaux.....		316
Listes des abréviations		320

Annexes :

Annexe A : Les axes d'application du PNME de 2007

Annexe B : Recensement des recherches portant sur la maîtrise de l'énergie en Algérie.

Annexe C : Caractéristiques thermiques des matériaux

Annexe D : Complément des résultats relatif aux analyses en composante principale

Annexe E : Calcul des densités bâties

Annexe F : Questionnaire.

Annexe G : Glossaire.

Annexe H : Etat des lieux de la recherche en énergétique du bâtiment et urbaine en Algérie.