



Thèse présentée pour obtenir

DOCTORAT LMD

Formation doctorale : Villes durables, Urbanisme et Environnement

Présentée par :

Mohamed Nour El-Islem HACHAICHI

**La capacité de charge carbone (C^3) comme outil de monitoring-controlling
du modèle urbain d'Alger vers la soutenabilité environnementale et la
résilience climatique**

Soutenu publiquement devant le jury d'examen :

Président :	M. KEHILA Youcef	Professeur	EPAU, Alger
Examineurs :	Mme. DJIAR Kahina Amel	Professeur	EPAU, Alger
	Mme. ABBAS Lila	Professeur	USTHB, Alger
	M. REDJEM Ali	Professeur	U. de M'sila
	M. RAHAL Farid	Docteur-MCA	USTO, Oran
Directeur de thèse :	M. BAOUNI Tahar	Professeur	EPAU, Alger

07 Mars 2021

« ...Chaque époque crée 'sa' ville et [...] chaque ville est appelée à gérer, mieux encore, à maîtriser le legs architectural et urbanistique, socioculturel et économique, pris en charge dans des conditions souvent très peu optimales... ». **Wackermann, 2005.**

A mes parents,

A mes frères,

"...Il y a ceux qui possèdent peu et qui le donnent en entier. Ceux-là ont foi en la vie et en la générosité de la vie, et leur coffre ne se vide jamais. Il y a ceux qui donnent avec joie, et cette joie est leur récompense. Et il y a ceux qui donnent dans la douleur, et cette douleur est leur baptême. Et il y a ceux qui donnent et qui n'en éprouvent point de douleur, ni ne recherchent la joie, ni ne donnent en ayant conscience de leur vertu. Ils donnent comme, là-bas, le myrte exhale son parfum dans l'espace de la vallée. Par les mains de ceux-là, Dieu parle, et du fond de leurs yeux Il sourit à la terre..."

Khalil Gibran, Le prophète

Dans le contexte local, la thèse de doctorat est majoritairement dévoyée et caricaturée de sa nature essentielle. Contrairement à ce qui a pu s'écrire par ici ou là. La thèse de doctorat devrait, en principe, exhaler; à l'absence quasi totale d'un propulseur extérieur, le raisonnement scientifique du doctorant, ses doutes, ses incertitudes, ses intentions et ses idées les plus folles, qui sont, par ailleurs, méticuleusement façonnés de proche en proche histoire de montrer ou à démontrer un cas particulier, un fait-divers, un phénomène physique observable ou métaphysique abstrait. La thèse de doctorat n'est pas faite d'une manière détachée et isolée de son auteur, mais à contrario, elle fait partie de lui et vis-versa. Les deux se sculptent en synergie, la thèse finit par être écrite par le doctorant, et le doctorat offre la maturité, la rigueur scientifique et un code déontologique particulier à son auteur. S'agissant presque d'un mariage conventionnel à moins où à long terme, dans le meilleur et dans le pire entre le doctorant et son doctorat.

En arrivant là, à la fin d'un parcours où notre sac-à-dos, qui nous a accompagnés durant cette épreuve, nourris plein de connaissances, de savoir, d'éthique et de patience, il semble inhumain d'oublier quelques personnes qui ont jailli ma propre aventure de fureter où s'éclipse-t-elle la lumière du savoir, c'est justement ces personnes dont je désirais que leurs noms restent poinçonnés dans ce document, je pense particulièrement à :

Mon directeur de thèse Professeur Tahar Baouni, directeur du laboratoire villes, urbanisme et développement durable. Je vous remercie chaleureusement pour votre esprit scientifique et éthique, votre intérêt et soutien, votre disponibilité et vos nombreux conseils durant la rédaction de ma thèse. Merci de m'avoir appris d'être autonome durant ce travail de recherche, une qualité primordiale pour un jeune chercheur. Merci de m'avoir laissé travailler sur un sujet qui m'anime, qui me fasse vibrer et qui m'ouvrira certainement plein d'horizons.

Ce travail n'aurait pas pu être mené à bien sans le soutien immense des personnes et collègues qui ont contribué à alimenter ma réflexion et de m'avoir apporté leur soutien moral et intellectuel tout au long de mes recherches auxquelles je tiens à témoigner toute ma reconnaissance et gratitude, aux : Professeur Helga Weisz, Docteur Peter-Paul Pichler et Ingram Jaccard.

Nous nous adressons nos plus sincères remerciements aux membres de jury qui ont accepté d'examiner ce modeste travail, nous pensons particulièrement à : M. Kehila Youcef (EPAU), Mme. Djiar Kahina (EPAU), Mme. Abbas Lila (USTHB, Alger), M. Redjem Ali (U. de M'sila), et M. Rahal Farid (USTO, Oran).

Au terme de ce parcours, je finis par remercier, d'une manière chaleureuse, celles et ceux qui me sont chers et que j'ai quelque peu délaissés depuis un temps afin de donner vie à cette thèse. Je suis, en particulier, redevable à mes parents, Ziani Abla et Hachaichi Nour El-Dine, pour leur soutien moral et matériel.

Résumé

Au-delà de la triade qui tyrannise le monde moderne d'aujourd'hui, '*stress énergétique, disponibilités des matières premières et régression des actifs écologiques*', les modifications climatiques amorcées au début du XX^e siècle sont considérées comme étant un facteur de déséquilibre du monde moderne, menaçant plus que jamais les cycles fondamentaux qui régissent la biosphère et, par voie de conséquence, sa capacité hospitalière. Suivant une logique de cause à effet, nous percevons que le phénomène du réchauffement climatique, hypothétiquement parlant, est un fait anthropique local amorcé via la combustion des énergies fossiles (charbon, gaz et pétrole), la déforestation massive et l'agriculture intensive. Toutes ces activités anthropiques sont considérées comme étant une source d'émissions de gaz à effet de serre. Au sujet des menaces qui pèsent sur la population humaine et la biodiversité, les écosystèmes urbains doivent être cristallisés autour de deux caps chapeautés par des mesures de mitigation et d'adaptation.

L'Algérie, en tant que pays en voie de développement de la rive sud de la Méditerranée, tente tant bien que mal d'atténuer ses émissions anthropiques en parallèle à ses objectifs soumis à la CCNUCC. À savoir, à l'échelle nationale, l'Algérie a récemment augmenté la dose de son volontarisme politique en vue de lutter contre le changement climatique et réduire, par voie de conséquence, son bilan carbone. Quoiqu'il en soit, sa vision technocratique, déséquilibrée et isolée a rendu les initiatives stériles, sans efficacité, faisant que le but assigné ne sera pas atteint. Notre motif de recherche serait alors de mouvoir les parties prenantes et l'architecture des outils d'urbanismes locaux (PDAU) autour de la complexité du changement climatique à l'échelle locale, en s'intéressant au fonctionnement du métabolisme socioéconomique d'Alger et en se focalisant davantage sur le fonctionnement de la ville à travers une vision selon laquelle la ville serait considérée comme une boîte blanche contrairement à l'idée de la boîte noire qui s'intéresse qu'aux comportements des villes. Ceci a pour but de construire un outil d'aide à la décision qui serait censée répondre à l'état d'urgence d'action, la stérilité des stratégies entreprises et la lenteur des pratiques opérationnelles urbaines à Alger.

Il faut, en effet, que l'écosystème urbain algérois reconnaisse, tout d'abord, les seuils qui le régissent et, par la suite, fonctionne en prenant en considération ses seuils pour ne pas abîmer le fonctionnement des cycles biologiques (et certains cycles bio-essentiels) et ne pas altérer la vie des organismes vivants. C'est dans cette optique que la présente recherche puise sa force. L'outil de monitoring-controlling sera construit autour de deux indicateurs, qui sont (i) le bilan carbone et (ii) la capacité des puits carbone, les résultats seront présentés en t CO₂. Le modèle sera appliqué sur la Wilaya la plus peuplée du pays (Alger) puisqu'elle connaît une croissance urbaine rapide. La C³ symboliserait alors une force motrice pour reconstruire une Alger soutenable, inclusive, résiliente et sobre en carbone.

Mots-clés : Métabolisme socioéconomique, capacité de charge, budget carbone, bilan carbone, population limite, modèle urbain.

Abstract

Beyond the critical triad that tyrannizes human civilisations such as '*energy stress, raw material availability and regression of ecological assets*', climate change phenomenon, discovered at the beginning of the 20th century, is considered to be the most greatest factor causing major imbalances in our modern world, threatening, more than ever, the fundamental cycles that govern the biosphere and, consequently, shrinking its hospital capacity. Following the logic of causes and effects, we perceive that global warming phenomenon, hypothetically speaking, is a local anthropic phenomenon generated through the combustion of fossil fuels (coal, gas and oil), massive deforestation and intensive agriculture. All these anthropogenic activities are considered to be a source of greenhouse gas emissions (GHG). Regarding the threats to human population and biodiversity, urban ecosystems must be crystallized around two capstones orchestrated by (i) mitigation and (ii) adaptation measures.

Algeria, as a developing country on the southern shore of the Mediterranean, is trying to mitigate its anthropogenic emissions in parallel with its objectives submitted to the UNFCCC in 2015. Namely, at the national level, Algeria has recently increased the dose of its political voluntarism (including the establishment of a set of aggregated initiatives, operational tools and an arsenal framework) in order to tackle climate change and reduce, consequently, its direct carbon emissions (so called territorial emissions). However, its technocratic, unbalanced and isolated vision has rendered the initiatives sterile and ineffective, therefore, the assigned target will not be reached. Our research aims to reweave the networks between the urban stakeholders and the architecture of the local urban planning tools (PDAU) around the complexity of climate change at the local scale, by focusing on the functioning of Algiers' socio-economic metabolism and double-focusing on the functioning of the city through a vision according to which the city would be considered as a white box contrary to the idea of the black box which depicts only the behaviors of cities. Therefore, we aim to build a decision support tool that would be supposed to respond to the state of emergency of action, the sterility of the strategies undertaken and the slowness of urban operational practices in Algiers.

Not surprisingly, Algiers' urban ecosystem must recognize, first of all, the thresholds that govern it and, subsequently, operates by taking into consideration its thresholds in order to maintain the functioning of biological cycles (and some bio-essential cycles) and not to alter the life of living organisms (biodiversity). It is from this point of view that the present research draws its strength. The monitoring-controlling tool will be built around two indicators, which are (i) *territorial carbon emissions* and (ii) *carbon sink capacity*, the results will be presented in t CO₂. The model will be applied to the most populated Wilaya in the country (Algiers) since it is experiencing an important urban growth (spatial, demographic and economic). Carbon Carrying Capacity (C³) would then symbolize a driving force to rebuild Algiers towards a more sustainable, inclusive, resilient and low-carbon city.

Keywords: Socioeconomic metabolism, carrying capacity, carbon budget, carbon footprint, population limit, urban model.

ملخص

على غرار الثالث الذي يستبد بالعالم الحديث اليوم، و المتمثل في "إجهاد الطاقة، ندرة المواد الخام وتراجع مساحات الأصول البيئية"، تعتبر التغيرات المناخية التي بدأت في بداية القرن العشرين عاملاً من عوامل عدم التوازن في العالم الحديث، و الذي يهدد، أكثر من أي وقت مضى، الدورات الأساسية التي تحكم المحيط الحيوي، وبالتالي، تقليص مرونته مما يؤدي إلى تقليل فعاليات آليات التنظيم الذاتي. باتباع منطق السبب والنتيجة، فإننا ندرك أن ظاهرة الاحتباس الحراري، من الناحية الافتراضية، هي حقيقة محلية بشرية المنشأ سببها احتراق الوقود الأحفوري (الفحم والغاز والنفط)، إزالة الغابات على نطاق واسع والزراعة المكثفة. تعتبر كل هذه الأنشطة البشرية المصدر منبعا لانبعاثات غازات الاحتباس الحراري. فيما يتعلق بالتهديدات التي يتعرض لها السكان والتنوع البيولوجي، يجب أن تتبلور نظم المدن الحضرية المعاصرة حول مجالين مهمين متمثلين في (1) تخفيف انبعاث غازات الاحتباس الحراري و (2) التكيف للأخطار الناتجة عن تغير المناخ.

الجزائر، كدولة نامية على الشاطئ الجنوبي للبحر الأبيض المتوسط، تعمل ساعية على تقليل انبعاثاتها الكربونية بالتوازي مع أهدافها المقدمة إلى اتفاقية الأمم المتحدة بشأن تغير المناخ عام 2015. وبالتحديد، على المستوى الوطني، زادت الجزائر مؤخراً من جرعة التطوع السياسي (بما في ذلك إنشاء مجموعة من المبادرات والأدوات بالإضافة إلى إطار ترسانة جد معززة) من أجل مكافحة تغير المناخ وبالتالي تقليل انبعاثات الكربون. لكن، الرؤية الإستراتيجية التكنوقراطية وغير المتوازنة جعلت المبادرات غير مثمرة وغير فعالة، وبالتالي لن يتحقق الهدف المحدد. سيكون دافعنا البحثي بعد ذلك هو إجماع الأطراف المعنية وبنية أدوات التخطيط الحضري المحلي (PDAU) حول تعقيد تغير المناخ على المستوى المحلي، من خلال التركيز على عمل التمثيل الأيضا الاجتماعي والاقتصادي في الجزائر العاصمة والتركيز أكثر على الأداء الوظيفي للمدينة. نهدف بهذا إلى بناء أداة لدعم القرار التي من المفترض أن تستجيب لحالة الطوارئ، وعقم الاستراتيجيات المتبعة وبطء الممارسات الحضرية في الجزائر العاصمة.

يجب أولاً وقبل كل شيء أن يتعرف النظام البيئي الحضري في الجزائر العاصمة على حدوده الفزيولوجية، وبالتالي، الاعتبار و مراعات كل حد حتى لا يتم الضرر بعمل الدورات البيولوجية و الحفاظ على التنوع البيولوجي. من هذا المنظور، يستمد هذا البحث قوته. سيتم إنشاء أداة التحكم و المراقبة حول مؤشرين ، وهما (1) الانبعاثات الكربونية ضمن حدود المدينة و (2) سعة تخزين الكربون للمدينة، سيتم تقديم النتائج بـ $t\ CO_2$. سيتم تطبيق النموذج على الولاية الأكثر اكتظاظاً بالسكان في الجزائر (الجزائر العاصمة) نظراً لأنها تشهد نمواً حضرياً هائلاً. أخيراً، قدرة تحمل الكربون C^3 المطورة في هذا البحث تعتبر كقوة دافعة لإعادة بناء مدينة الجزائر العاصمة نحو مدينة أكثر إستدامة ومنخفضة الكربون.

الكلمات المفتاحية : للأبيض الاجتماعي و الإقتصادي، قدرة التحمل البيئية، سعة الكربون، النسمة السكانية، النمو الحضري، النموذج الحضري، بصمة ثنائي أكسيد الكربون.

Table de matières

Résumé	V
Abstract	VI
ملخص	VII
Table de matières	VIII
1 Introduction Générale	1
2 Motivation de recherche et choix du thème	4
3 Arguments de recherche et autocritiques	8
4 Problématique	10
5 Hypothèses de recherche	13
6 Objectifs de recherche	14
7 Méthodologie de recherche	14
7.1 Zone d'étude et sources des données	14
7.2 Méthode	16
7.3 Aperçu des résultats	20
7.4 Structure de thèse	25
Première partie : Biophilie dans l'anthropocène, un cap apaisé pour retisser les relations symbioses Homme-Nature	26
Chapitre I : Le développement durable et la question climatique : Vers des modes de vie pro-climat et un paradigme économique plus vert	26
Introduction	26
1.1. Le développement durable entre un oxymore paralysant et un chiasme mouvant	27
1.1.1. Le développement durable une définition en pleine métamorphose	27
1.1.2. Dichotomie idéologique du développement durable	30
1.1.3. La pensée triptyque du développement durable entre remembrement et démembrement	32
1.1.4. Disséquer la sphère environnementale : Une destruction totale des équilibres écologiques	33
1.1.5. Déséquilibre du monde moderne : Des rapports complètement bouleversés	35
1.1.6. L'homme en tant qu'élément de la biosphère	39

1.1.7.	La lutte pour une biosphère stable	48
1.1.8.	À la recherche d'un climat favorable au développement	49
1.2.	Le défi du changement climatique entre mythes et réalités	49
1.1.9.	Le réchauffement climatique, une définition en transfiguration dynamique	50
1.1.10.	Le mécanisme de l'effet de serre, le berceau enlaçant la vie	50
1.1.11.	Les gaz à effet de serre et leur potentiel de réchauffement global	51
1.1.12.	L'histoire du réchauffement global, d'un doute confus vers une assurance évidente	52
1.1.13.	Profil climatique du monde : Responsabilités et défis	53
1.1.14.	Préoccupations à l'échelle mondiale	54
1.1.15.	Préoccupations à l'échelle locale (Algérie) entre un laxisme opérationnel et nonchalance gouvernementale	54
1.1.16.	Alliance entre dioxyde de carbone et profil climatique	56
1.1.17.	Les impacts nocifs du dérèglement climatique	58
1.1.18.	Calendrier des initiatives menées en faveur du climat	60
1.1.19.	L'ancrage territorial pour militer contre les changements climatiques : La ville Post-carbone, une panacée universelle	63
1.1.20.	Vers un nouveau cap climatique : Quelle trajectoire lucide pour désintoxiquer la biosphère	63
1.1.21.	Méthodologie d'évaluation des gaz à effet de serre à l'échelle des villes	64
1.1.22.	Controverses suscitées autour du climat	68
	Conclusion	68
	Chapitre II : La capacité de charge environnementale dans l'ère de l'agonie planétaire, des seuils à respecter pour pouvoir exister	69
	Introduction	69
2.1.	La capacité de charge environnementale comme un remède aux maux urbains	69
2.1.1.	La capacité de charge environnementale, une définition polysémique	69
2.1.2.	Genèse de la capacité de charge environnementale	72
2.1.3.	Les différents types de capacité de charge	74
2.1.3.1.	La capacité de charge écologique/biologique	74
2.1.3.2.	Capacité de charge urbaine	75

2.1.3.3.	Capacité de charge touristique	76
2.1.3.4.	Capacité de charge résidentielle	78
2.1.3.5.	La capacité de charge territoriale	78
2.2.	Alliance entre capacité de charge environnementale et croissance urbaine, un avenir opérationnel : Stérile ou féconde ?	78
2.3.	La capacité de charge environnementale entre théorie et pratique	82
2.3.1.	Méthodologie d'évaluation de la capacité de charge environnementale, une philosophie tripartite et un dogmatisme quantitatif	82
2.4	Autopsie des exemples ayant fait recours à la notion des seuils limites	83
2.4.1.	La cité jardin d'Ebenezer Howard, un modèle pour le présent et l'avenir	83
2.4.2.	La cité Mozabites et l'environnement, des rapports respectés	86
2.4.3.	Paris change d'ère, vers la neutralité carbone d'ici à 2050	89
2.5	Controverses suscitées par la capacité de charge environnementale	90
2.6	La notion de la capacité de charge comme remède à la binarité du monde moderne (moitié urbaine, moitié industrielle)	90
2.7	Notre point de vue détermine le futur	91
	Conclusion	93
	Deuxième partie : Autopsie du métabolisme socio-économique algérois : Consistance, enjeux et perspectives	94
	Chapitre III : Évaluation de la capacité de charge carbone d'Alger, estimer le seuil de la croissance tolérable	94
	Introduction	94
3.1	Le cycle biogéochimique du carbone, le cycle de vie	95
3.1.1	Les réservoirs du carbone dans la biosphère	97
3.2.1.1.	La lithosphère :	97
3.2.1.2.	La biosphère :	97
3.2.1.3.	L'hydrosphère :	97
3.2.1.4.	L'atmosphère :	97
3.2	Evaluation de la Capacité de Charge Carbone (C ³) : Quelle taille de population pourrait être soutenue par l'écosystème Algérois ?	98
3.2.1	Contextualisation de la capacité de charge humaine urbaine	98

3.2.2	Genèse de la capacité de charge humaine	100
3.2.3	La Capacité de Charge Carbone, l'atome du carbone dans la biosphère	104
3.2.4	Méthode et matériaux	105
3.2.5	Méthode	106
3.2.6	Résultats	107
3.2.6.1	Capacité de charge carbone d'Alger	107
3.2.6.2	Bilan carbone du métabolisme socio-économique d'Alger	110
3.2.7	Discussions	113
	Conclusion	114
	Chapitre IV : Évaluation des émissions indirectes du métabolisme socio-économique algérois : Vers un rétrécissement du bilan carbone	116
	Introduction	116
4.1	Décrypter le fonctionnement complexe des villes : Inoculations disciplinaires	116
4.1.1.	La ville en tant qu'objet complexe et son lien avec les émissions carboniques	116
4.1.2.	L'économie : Une discipline apte à décrypter le fonctionnement des villes	118
4.1.2.1.	La ville : Statistiques et probabilités	119
4.1.2.2.	La ville, un élément générateur des données	120
4.1.2.3.	La ville : Types d'analyses et modèles de régression	120
4.2	Tableaux d'Entrée-Sortie Multi-Régionale : Base de données sur la chaîne d'approvisionnement mondiale	121
4.2.1	Structure des tableaux dans la base de données d'Eora	123
4.3	Evaluation des émissions carboniques relatives à la consommation finale	125
4.2.1.	Vers des modes de vie respectueux du climat et des comportements soutenables	125
4.2.2.	L'empreinte carbone à l'échelle des villes : Quel avenir ?	126
4.4	Méthode et matériaux	127
4.3.1.	Contexte de recherche : Le défi climatique de l'Algérie	127
4.3.2.	Sources de données	129
4.3.2.1.	Données relatives à l'évaluation des émissions directes de CO ₂	129

4.3.2.2.	Données de l'enquête sur les dépenses de consommation au niveau des villes	129
4.5	Méthode	129
4.4.1.	Préparation des données	129
4.4.2.	Agrégation et visualisation des résultats	131
4.6	Résultats	132
4.5.1.	Composition structurelle des dépenses annuelles des consommateurs urbains	133
4.5.2.	Résultats des émissions virtuelles pour Alger, Tunis et Marrakech	134
4.7	Discussions	136
	Conclusion	139
	Troisième partie : Réanimation de la pensée urbanistique algéroise par le biais de la Capacité de Charge Carbone (C³) : Théorie des systèmes complexes	140
	Chapitre V : L'approche systémique : Une approche holistique	140
	Introduction	140
5.1.	Approche, représentation et modélisation systémique	140
5.2.	Genèse de l'approche systémique	141
5.3.	L'approche systémique : But et finalité souhaités	143
5.4.	Les modes d'application de l'approche systémique	143
5.5.	Les deux visions opposées, l'approche systémique versus l'approche cartésienne	144
5.6.	Les concepts fondamentaux de l'approche systémique	144
5.7.	Le dogmatisme systémique et le système	148
5.7.1.	Définition d'un système	148
5.7.2.	Les typologies des systèmes	151
5.8.	La représentation systémique	153
5.9.	La modélisation systémique	154
5.10.	Les outils de la logique systémique	156
5.10.1.	Triangulation systémique	157
5.10.2.	Le découpage systémique	157
5.10.3.	L'analogie	157
5.10.4.	Le langage graphique	157

5.11.	L'approche systémique dans l'école urbanistique et architecturale	158
5.12.	La ville comme un organisme vivant complexe et compliqué	158
5.12.1.	Physiologie urbaine	160
5.12.2.	Morphologie urbaine	162
5.12.3.	Intelligence urbaine	163
5.13.	Le modèle urbain issu de l'imbrication de l'approche systémique à l'urbanisme	163
5.14.	Types de modèles urbains	164
5.14.1.	Le modèle urbain : Une théorie quantitative pour expliquer le fonctionnement des villes	164
5.14.2.	Le modèle urbain : Une vision idéaliste des villes	165
5.14.3.	Quelques modèles urbains	166
5.15.	Composantes et propriétés des services écosystémiques	168
5.16.	La ville est-elle vraiment un organisme vivant ?	170
	Conclusion	171
	Chapitre VI : Modélisation de l'outil de monitoring~controlling du modèle urbain Algérois vers la soutenabilité environnementale et la résilience climatique	172
	Introduction	172
6.1.	L'action climatique dans le contexte algérien : Bilan et perspectives	173
6.1.1.	De nouvelles institutions et bilan	173
6.1.2.	Perspectives	179
6.2.	Le climat dans les outils de planification et de régulation en Algérie	179
6.2.1.	Le SNAT et le climat	180
6.2.2.	Le SEPT et le climat	180
6.2.3.	Le SDAAM et le climat	180
6.2.4.	Le PDAU et le climat	181
6.3.	Modélisation de l'outil par le biais de la Capacité de Charge Carbone (C ³)	182
6.3.1.	Les processeurs du système anthropique	184
6.3.2.	Les processeurs du système naturel	185
6.4.	Intégration de la capacité de charge carbone (C ³) dans le PDAU d'Alger	185
	Conclusion	189

Conclusion générale	190
Bibliographie	193
Liste des figures	210
Liste des tableaux	213
Liste des équations	214
Liste des abréviations et acronymes	215
Annexes	218

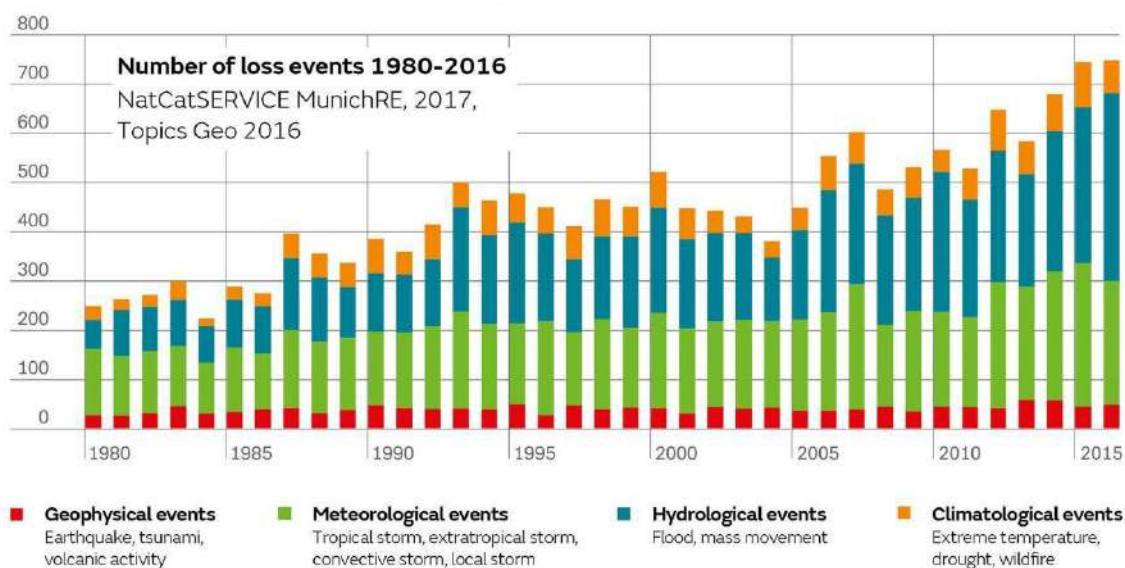
1 Introduction Générale

On s'accorde à dire que les villes sont des plaques tournantes créées pour accélérer le développement de l'humanité. Elles sont animées entre autres par les idées, le commerce, la production, la consommation, les relations humaines, et elles génèrent plus de 80% du PIB¹ mondial (Dhakal et Shobhakar, 2017). Toutefois, la nouvelle mutation qui s'est opérée au sein des villes à la deuxième moitié du XVIIIe jusqu'au XXIe siècle reflète une tendance qui se caractérise par une course vers le gigantisme, l'industrialisation, la mondialisation et la métropolisation (dont Alger). Tous ces facteurs participent à la vulnérabilité des écosystèmes urbains et réduisent, par voie de conséquence, leurs résiliences face aux phénomènes extrêmes tels que les changements climatiques. Dès lors, la ville, en tant que force motrice autonome, est transfiguratrice du milieu naturel, productrice des maux urbains, initiatrice des inégalités socio-spatiales et génératrice des impacts environnementaux multi-échelles. Quoiqu'elles occupent 2% de la superficie totale du globe terrestre (Gago et al. 2013), les villes abritent plus de la moitié de la population humaine et consomment deux tiers de l'énergie disponible sur la planète Terre, de par leur fonctionnement, elles sont responsables d'émettre 80% des gaz à effet de serre (Lombardi et al. 2017a), dont 70% sont du dioxyde de carbone (CO₂) (GIEC 2015a; Terrin 2014). Par opposition à cet aspect négatif, les villes offrent des occasions de renouvellement, remodelage, reconstruction, en agissant simultanément sur plusieurs secteurs connus sous le nom de multiplicateur de durabilité. Car c'est bien au niveau de la ville que l'on peut contrôler la densité, remodeler les formes urbaines, où l'on peut optimiser les flux d'énergie et de matières, où les modes de transport peuvent être substitués à d'autres modes plus verts, où les principes de Nations Unies peuvent voir le jour. De ce fait, la ville devient alors un objet positif.

¹ Le Produit intérieur brut est un indicateur économique (monétaire) qui reflète la production économique au sein d'un pays donné.

Figure 1 : Les événements extrêmes sont devenus de plus en plus fréquents.

Are extremes becoming more frequent?



Source : Office de Météorologie de la Royaume-Uni, 2018.

Au niveau de l'anthropocène et contrairement à ce que nous avons l'habitude de confronter, les risques naturels d'aujourd'hui sont graduels (Fig.1), parfois irréversibles et deviennent de plus en plus extrêmes à cause du chamboulement des mécanismes écologiques, économiques et sociaux, créant un nuage embrouillé gouverné par des relations intimement liées de dépendances et d'influences dont la finalité, souvent, est obscure et ambiguë. Une trajectoire si dramatique pour la capacité hospitalière de la planète Terre qui se trouve alors menacée. Par ailleurs, il est scientifiquement admis, selon le GIEC, que le phénomène du changement climatique s'attise par les émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique via la combustion des énergies fossiles dans l'industrie, le transport, l'agriculture et les ménages. Quoi qu'il en soit, selon Potsdam-Institut für klimafolgenforschung, ce phénomène pourrait être appréhendé selon quatre variables expliquant sa magnitude (i) la croissance de population, (ii) les choix énergétiques (iii) la croissance économique et (iv) l'innovation technologique. Il paraît alors primordial de maîtriser l'une de ces variables et/ou l'ensemble d'entre elles, en vue de militer contre ce phénomène à l'aide de la mise en œuvre d'une politique climatique mobilisée par des mesures d'atténuation et d'adaptations. Hélas, en dépit des initiatives² instruites en faveur du climat qui nous incitent à croire que la situation climatique s'améliore, au contraire, la situation environnementale s'est plutôt dégradée depuis

² Parmi les initiatives coopératives, nous trouvons, à titre d'exemple, C40, Cities Clean Bus Déclaration, Carbon Neutral Cities Alliance, Caring climate, Compact/Covenant of Mayors ; enlighten initiative ; Renewables LCTPi ; The 1-in-100 Initiative, Actions coopératives, Bonn challenge qui vise à restaurer 150 millions d'hectare des forêts à l'échelle mondiale d'ici 2020. Déclaration de New-York sur les forêts qui vise à réduire de moitié la perte de forêts naturelles à l'échelle mondiale d'ici à 2020 et mettre fin à la perte de forêts d'ici à 2030, etc.

longtemps à cause de l'explosion démographique et l'élargissement de l'empreinte écologique³ de cette société mondialisée. Dès lors, l'humanité est interpellée à construire un nouveau modèle autour duquel l'économie humaine devrait chapeauter la triade suivante (i) la nature, (ii) l'activité humaine et (iii) la biodiversité pour augmenter la capacité de faire face (*coping capacity*) aux cinq menaces⁴ identifiées au cours du XXI^e siècle.

Quoi qu'il en soit, la croissance démographique exponentielle aujourd'hui est perçue comme étant un facteur de déséquilibre du monde moderne. La population humaine se multiplie diligemment de 5.33 milliard de personnes en 1990 à 7.8 milliards en 2020. Suite à cette croissance rapide, les dégradations environnementales prennent une nouvelle dimension caractérisée par l'incapacité des systèmes naturels à répondre aux besoins des populations aussi bien humaine qu'animale (Wackernagel and Beyers 2019). Dès lors, cette explosion démographique, responsable de dégradation, modificatrice, voire destructrice, des grands équilibres qu'aucun progrès scientifique ne parviendrait à compenser, par ailleurs, doit désormais répondre à certains seuils limites. Ces seuils sont dictés par la capacité de charge environnementale qui se définit en fonction de plusieurs facteurs tels que (i) nombre de populations, (ii) progrès technologiques, (iii) la richesse et (iv) l'impact environnemental. La capacité de charge est définie comme étant le nombre maximal de populations qui pourrait être soutenu par territoire sans altérer ses mécanismes qui maintiennent la vie des organismes vivants au sein d'un écosystème donné. Néanmoins, il faut reconnaître que l'environnement possède deux types de capacités de charge, l'une est une capacité d'approvisionnement des ressources naturelles (nourriture, eau, pétrole, charbon, gaz naturel, matières premières) et l'autre, une capacité d'assimilation via laquelle le biotope dissimule les déchets (déchets gazeux : processus biogéochimique, déchets solides : processus de dégradation, déchets liquides : processus de purification). En outre, la capacité d'assimilation de l'environnement est un facteur fondamental qui donne le caractère opérationnel à la biosphère d'être une grande usine de recyclage et même d'être un système autorégulateur (Carson 2015; Smil 2003).

Pour cela, il est tout à fait légitime de limiter la croissance démographique via des facteurs qui régissent la capacité d'assimilation. Cependant, il est difficile de prendre en compte tout le processus d'absorptivité de l'environnement, c'est-à-dire à la fois les processus biogéochimiques, le processus de dégradation et le processus de purification. Dès lors, la présente étude se focalise seulement sur le processus biogéochimique qui traite la partie des déchets gazeux dans les villes. Hélas, les déchets gazeux émis par les villes sont

³ L'empreinte écologique mesure la demande humaine sur la nature en évaluant la vitesse avec laquelle les ressources sont consommées et les déchets sont émis par rapport à la vitesse avec laquelle la planète peut régénérer les ressources et absorber les déchets.

⁴ Les cinq menaces qui affectent le fonctionnement correct de la biosphère sont : (i) Perte et dégradation de l'habitat, (ii) Surexploitation des espèces (iii) Pollutions, (iv) Espèces invasives et maladies et (v) Changements climatiques (WWF 2016).

manifestement multiples et divers, notons : Dioxyde de carbone, méthane, protoxyde d'azote, monoxyde de carbone, chlorofluorocarbène, fluorure de soufre, vapeur d'eau, le monoxyde de carbone... etc. Pour limiter le contexte d'étude, la présente recherche polarise l'intérêt sur un seul gaz (CO₂), lui, entrant dans un processus d'échange entre les quatre réservoirs (i) atmosphère, (ii) hydrosphère (iii) biosphère et (iv) lithosphère suivant un cycle baptisé le cycle biogéochimique du carbone qui est intimement corrélé au cycle de l'oxygène.

Notre réflexion porte sur un large éventail de questions critiques dont nous ne connaissons pas encore la réponse : Quels sont les critères fondamentaux pour qualifier la ville durable ? Quels modèles urbains reflétant mieux l'idée de la soutenabilité ? Quelles formes de villes durables seront envisagées à l'avenir ? La ville post-carbone, comme une alternative d'une ville soutenable dans l'anthropocène prônant la neutralité carbone, peut-elle être considérée comme étant une nouvelle manière de maintenir les inégalités nord-sud ? Est-il tout à fait légitime d'inciter et les PED vers une transition écologique qui ne peut être qu'une transition énergétique et l'utilisation des économies à bas carbone, sans oublier pour autant qu'ils n'arrivaient même pas à satisfaire leurs premiers besoins de la pyramide de Maslow ? La fameuse taxe carbone, n'est-elle pas, justement, une nouvelle forme de fraude, non seulement initiée pour maintenir les inégalités socio-spatiales, mais aussi pour les accentuer ! Sachant que cette taxe n'aura pénalisé que les catégories sociales déjà défavorisées habitant en zone périurbaine lointaine, et qui consacrent plus d'un quart de leur revenu au transport, suite à la hausse des fiscalités sur l'essence et la recrudescence des motifs de déplacements et les dilatations des distances parcourues, ce qui affecte encore leur budget consacré aux déplacements.

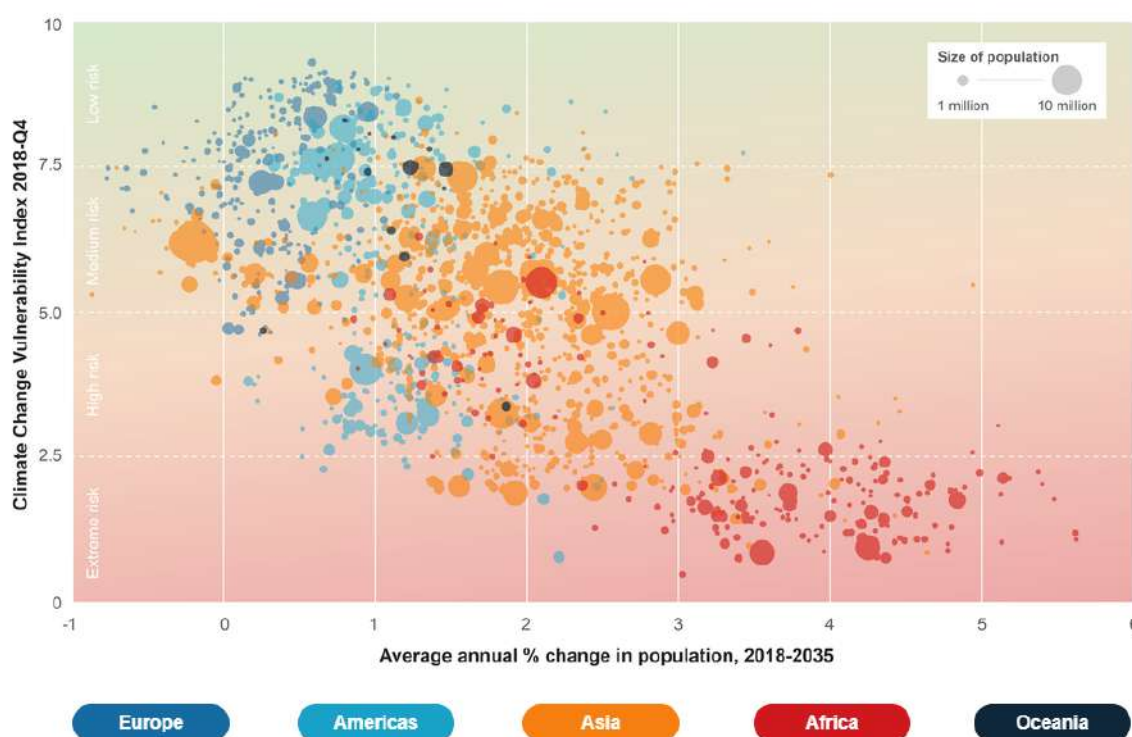
In fine, on s'accorde à dire que penser et concevoir une action durable nécessite, tout d'abord, de résoudre un problème local (par essence planétaire ou non) et de ne pas contextualiser une problématique qui résonne dans la revue de la littérature, ou qui fait bon à l'oreille avec un discours obus et détaché de la réalité ; ensuite, l'action envisagée devrait être opérationnelle à l'égard des institutions, les autorités et/ou les collectivités locales. C'est ce qui fait une action à visée du développement durable.

2 Motivation de recherche et choix du thème

La pluralité et la diversité des crises environnementales contemporaines exigent un changement radical en matière de comportements, de production-consommation, et de modes de vie de la population mondiale mondialisée. En effet, les populations des pays en voie de développement se trouvent, en quelque sorte, en situation désavantageuse, par rapport à celles des pays développés. Car lutter contre le changement climatique requiert un fonds monétaire important, ce fonds devrait en principe (i) améliorer le choix en matière d'énergie consommée, (ii) rendre les infrastructures urbaines plus performantes (iii) opter pour une gestion urbaine beaucoup plus responsable '*Green Infrastructure*', (iv) optimiser les dépenses des ménages, (v) requalifier les axes de circulations (mécaniques, cyclables et piétonnes), (vi)

instaurer la taxe carbone (vii) maîtriser la gestion des déchets dans les villes, (ix) créer des centres de recyclage des déchets, et (x) promouvoir l'éducation environnementale, c'est-à-dire produire des profils socioprofessionnels aptes à enseigner et accompagner les élèves des écoles primaires jusqu'aux études supérieures, dans un but unique, d'enseigner aux élèves, dès jeune âge, les impacts environnementaux et le droit de l'environnement.

Figure 2 : Indice de vulnérabilité aux changements climatiques.



Source : Verisk Maplecroft, 2018.

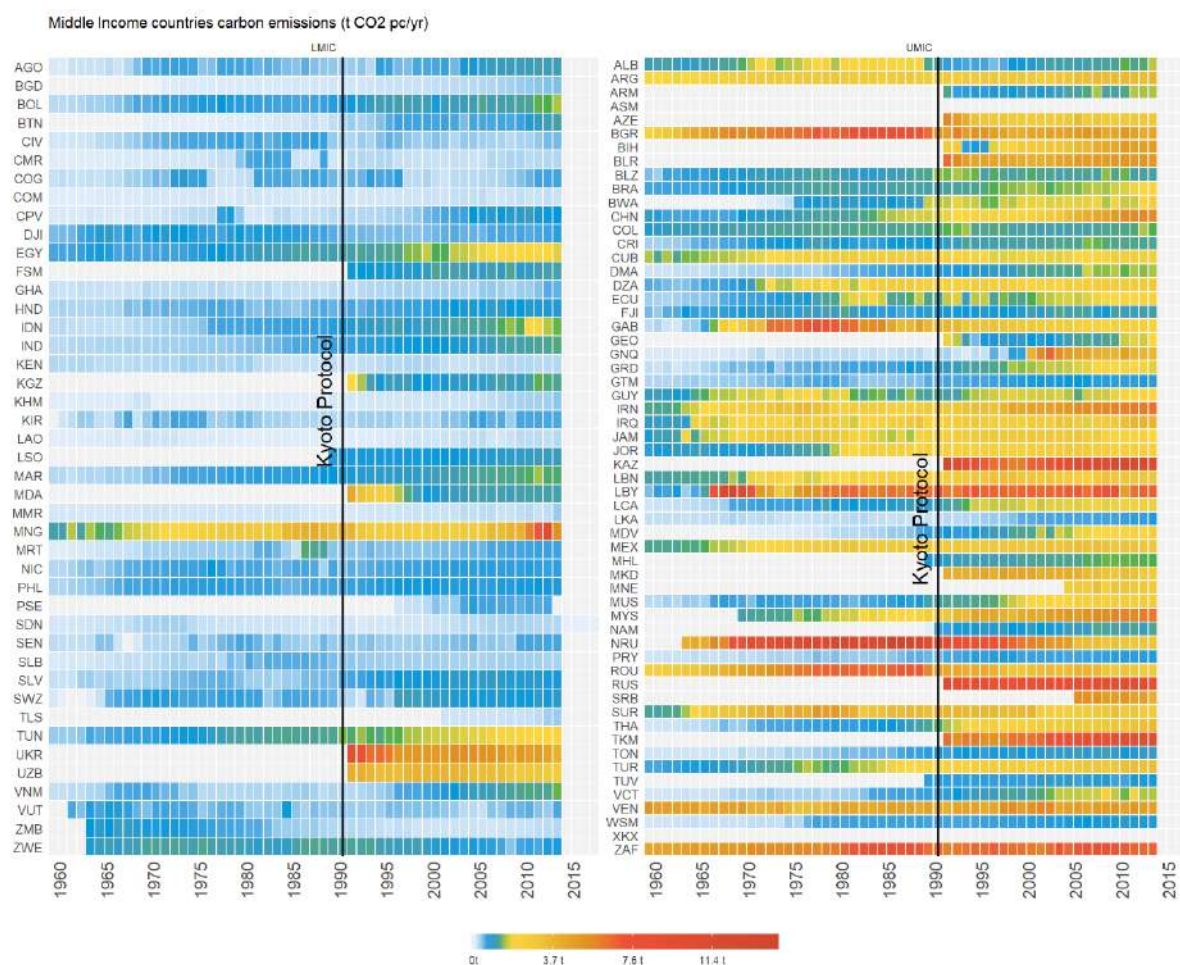
Pourtant, les villes dont l'économie est en développement (en général, les villes appartenant à la classe des Pays à Revenu Intermédiaire (PRI) : les pays à revenu intermédiaire supérieur, avec un Revenu National Brut (RNB) par habitant de 1 006 à 3 955 USD, et les pays à revenu intermédiaire inférieur, avec un RNB par habitant de 3 956 à 12 235 USD) sont caractérisées comme étant le foyer de 75 % de la population mondiale, abritant 60 % de la population pauvre de la planète Terre, et ayant les taux de croissance démographique les plus élevés, et sont également considérées comme des moteurs économiques majeurs puisqu'elles produisent 33 % du PIB mondial. Bien que les PRI soient très distincts en termes de contexte culturel, de structure économique et de besoins de développement, ils sont principalement confrontés aux mêmes défis de durabilité environnementale et urbaine. Selon une étude sur l'"Indice de vulnérabilité au changement climatique" élaborée par Verisk Maplecroft™ en 2018 (Fig.2), les villes ayant les taux de croissance démographique les plus élevés finissent par être confrontées à des risques climatiques plus graves et sont donc extrêmement vulnérables aux dangers du changement climatique, car ces villes connaissent deux tendances opposées, la

première dans laquelle les actifs écologiques, la sécurité environnementale et la disponibilité en eau diminuent, tandis que le taux d'urbanisation, la population et la croissance économique s'accroissent. Ainsi, la croissance démographique et spatiale monumentale des villes, accompagnée par l'application de nombreux programmes non durables rendent l'environnement bâti des PRI plus vulnérable et la fenêtre de vulnérabilité (*Window of vulnerability – wov*), malheureusement, plus large en raison du manque de l'intelligence urbaine au sein de ces villes.

Notez que les villes appartenant aux PRI sont confrontées à deux problèmes majeurs, d'une part, l'avenir des maux urbains, à savoir : les inégalités sociospatiales et de genre, un système sanitaire et éducatif déficient, des infrastructures de transport dans un état chaotique, et la multiplication des risques environnementaux, en particulier ceux liés aux risques climatiques. Ces constats augmentent massivement avec la linéarité du temps. Et d'autre part, la capacité de la gestion urbaine "*l'intelligence urbaine*" au sein de ces villes diminue avec l'élargissement de la fenêtre de vulnérabilité urbaine. Il est donc très important de faire évoluer les modèles urbains actuels de ces villes vers des modèles plus durables, moins carbonisés et plus résistants fonctionnant en accord avec les seuils environnementaux multi-échelles.

Le changement climatique est avant tout un phénomène mondial pour lequel chaque pays et chaque ville doit établir une feuille de route respectueuse du climat et réduire leurs émissions de carbone. La figure 3 montre que les émissions de carbone des pays à revenu intermédiaire ont augmenté drastiquement après le Protocole de Kyoto, et jusqu'à présent, la grande majorité de ces pays ne disposent d'aucun protocole d'inventaire des émissions de gaz à effet de serre au niveau des villes, voire même dans quelques pays aucun dispositif n'est opérationnel à l'échelle nationale. De plus, en matière de recherches et d'études approfondies en changement climatique, des chercheurs de *Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change*, William F. Lamb et ses collaborateurs (Lamb et al. 2019), ont trouvé qu'il y a un parti pris en faveur des grandes villes de l'hémisphère nord (les villes développées). C'est pour cela qu'il est impératif de construire des outils, fonctionnant à l'échelle des villes appartenant à l'hémisphère sud, afin de soigner notre planète Terre.

Figure 3 : L'escalade des émissions de carbone des pays à revenu intermédiaire après le protocole de Kyoto.



Source : Auteur, 2019.

Cependant, d'ici 2030, si l'on se penche sur les tendances de l'urbanisation, la région la moins représentée des recherches en termes de changement climatique est celle du continent africain (y compris l'Algérie) dont les villes à la croissance la plus rapide, et l'un des segments les moins représentés sont les petites villes asiatiques, qui représentera, d'ici quelques années, la plus grande part de la population urbaine mondiale. Par conséquent, les régions et les villes les plus pertinentes à l'avenir en termes de population urbaine totale et de dynamique de croissance sont systématiquement sous-représentées dans la littérature (l'Afrique et l'Asie). Ainsi, une forte proportion de la croissance future des émissions urbaines proviendra des villes asiatiques et africaines en plein essor, où les processus d'urbanisation et de développement des infrastructures sont en cours et offrent une occasion d'établir des conceptions urbaines compatibles avec des choix de modes de vie et une utilisation des bâtiments à faible émission de carbone. C'est pour cela que l'auteur a choisi ce thème, justement pour introduire les villes en développement avec les économies croissantes des pays à revenu intermédiaire (PRI) aux questions de durabilité mondiale, et façonner de

nouveaux comportements urbains pro-climat et concevoir des communautés urbaines durables et résilientes en Afrique.

3 Arguments de recherche et autocritiques

La présente recherche se base sur une panoplie d'arguments constituant sa force motrice pour pouvoir remettre en cause la capacité des territoires, voire même des régions et des villes à soutenir une taille de population par le biais des facteurs limitatifs "*limitation factors*" régissant la capacité d'assimilations de l'environnement.

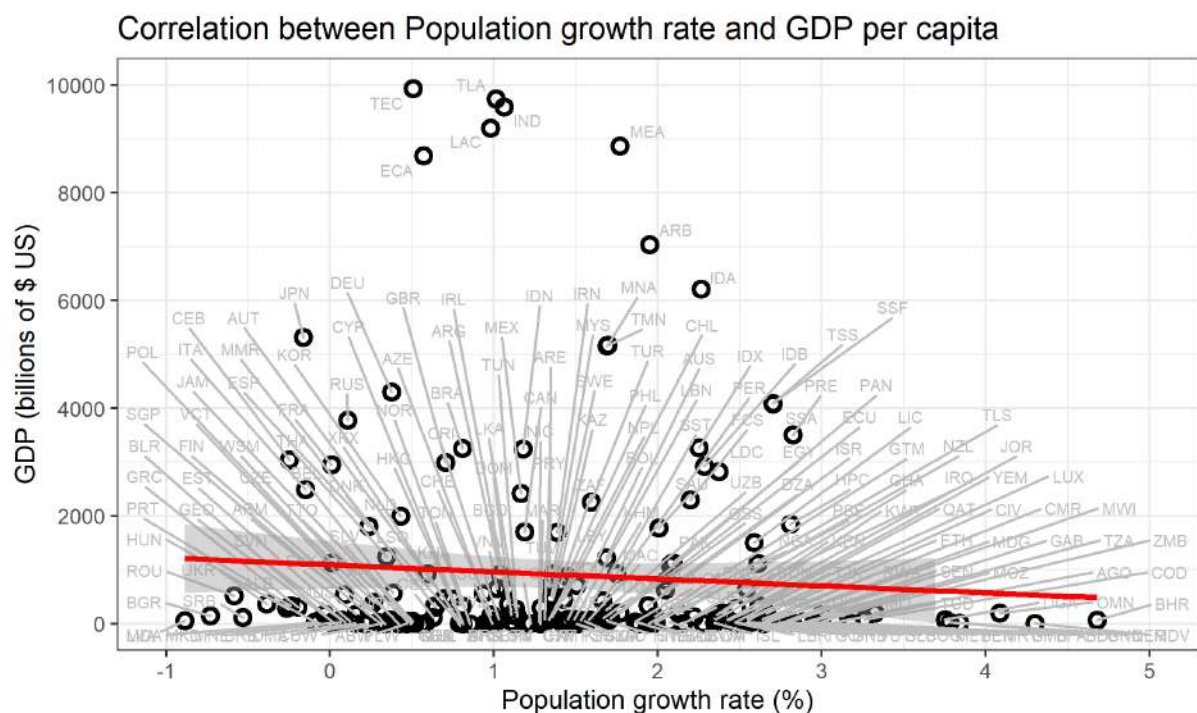
- La taille de population et le taux de croissance de population, dans les pays développés ou dans ceux en voie de développement, étaient et seront des facteurs contributeurs souvent qualifiés d'importants menant à la perturbation de l'environnement (Ehrlich 1994; Ehrlich and Holdren 1971).
- Quand la capacité de charge environnementale est excédée, cela mène à l'effondrement du métabolisme socio-économique, et la disparition de la ville (la disparition des villes et des civilisations antérieures "*Ephesus, in modern-day Turkey, was the second largest city in the Roman Empire*"). En effet, le mot collapse est défini par Jared Diamond comme étant « *a drastic decrease in human population size and/or political/economic/social complexity over a considerable area, for an extend time* » (Newman, Beatley, and Boyer 2009).
- La technologie de pointe ne peut pas résoudre le problème de la croissance humaine, d'ailleurs, la technologie ne peut empêcher l'environnement d'être surmené, au contraire, elle contribue à l'alourdissement de l'empreinte humaine (Hardin 1968).
- Évaluation de l'impact par personne est un indicateur très pertinent qui vise à évaluer l'impact d'une population donnée sur l'environnement suivant la formule ($I = P * F(P)$). La mesure la plus facile est celle de réduire la pression exercée par une personne vis-à-vis de l'environnement, et puis généraliser celle-ci.

Parmi les autocritiques que nous pouvons prodiguer, des réponses peuvent se résumer en quatre catégories :

- *Éthique et déontologique* : Il s'avère qu'initier des mesures afin de contrôler la population d'une ville, région, territoire, pays ou encore à l'échelle planétaire, pose de profonds problèmes d'ordre éthique, car les autorités ne peuvent pas ordonner aux populations de limiter les naissances, ceci dit, il faut reconnaître qu'un Somalien ne produit pas autant d'impact qu'un New Yorkais, cela peut se comprendre via l'indicateur de la consommation par personne (énergie et matière première). En d'autres termes, il faut établir des scénarios à l'échelle locale plutôt qu'à l'échelle planétaire.

- *Pertinence* : Il est vrai que contrôler la population n'est pas la seule utopie, la vague promesse d'un horizon radieux qui va nous sauver de cette crise environnementale, mais elle est en effet jugée nécessaire. Notons également que le contrôle de population ne va pas éliminer les problèmes modernes d'ordre social tels que le racisme, exploitation excessive de la richesse, guerres, etc.
- *Effet de causalité* : Il est clair selon le slogan (si X prévient Y, cela ne va pas dire que X cause Y), en effet, la taille de population est classée à un niveau inférieur (2^{ème} classe) affectant le système climatique, quoi qu'il en soit, le taux de croissance de population joue un rôle crucial. En utilisant la méthode OLS régression (Fig.4), nous constatons que l'augmentation du PIB par personne sera accompagnée par une amélioration de la qualité environnementale, c'est-ce que l'hypothèse de EKC affirme (Kuznets 1955).

Figure 4 : Relation entre PIB par personne et le taux de croissance démographique.



Source : Auteur, 2018.

- *Temporalité* : Les mesures entreprises pour contrôler le système climatique de la biosphère prennent un temps long pour prendre effet.

4 Problématique

Les villes côtières⁵ algériennes connaissent une croissance urbaine très importante, cette croissance est véhiculée par leurs dynamismes économiques et leurs pouvoirs d'attraction, suivant l'effet domino, la chaîne à réaction se produit à Alger à la suite de sa croissance démographique qui inciterait à une croissance spatiale et économique, la force du trio exerce un effet nocif sur les terres agricoles⁶, forestières et la détérioration de la biodiversité (faune et flore) faisant en sorte que le pays soit considéré écologiquement débiteur⁷. Le problème de l'environnement et sa capacité d'approvisionnement et d'assimilation se posent alors avec une acuité sans précédent. Pis encore, le phénomène du changement climatique exacerbe toute une panoplie de risques et aléas qui menacent la population humaine ; particulièrement la classe défavorisée⁸ et la biodiversité (végétale et animale).

Alger, à l'heure actuelle, pâtit de plusieurs symptômes révélateurs d'échec urbain (Fig.5) ; notons : Prolifération des déchets (Djemaci 2012; Mezouari 2011), pollution atmosphérique (Boughedaoui et al. 2004), urbanisation spontanée, dégradation du parc du logement (Smaïl, 2010, p.69), régression des terres agricoles (Bouzekri 2013), érosion des écosystèmes forestiers, étalement urbain incontrôlé (Hocine 2013), littoralisation excessive (Chabbi-Chermrouk 2014), saturation des infrastructures et des voiries (Bakour and Baouni 2015), disparition du biome, essoufflement des réseaux d'assainissement, stress hydriques (Naimi Ait-Aoudia 2016), crises énergétiques (Manel 2014), insécurités alimentaires (DPAT, 2009, p.19), insuffisances et inefficacités des transports en commun (Bakour, Baouni, and Thevenin 2018), vulnérabilité accrue aux risques majeurs (naturel, sanitaire, technologique et humain) (Kamel 2008), fragmentation sociale et détérioration du niveau de vie (Safar-Zitoun 2012). Tous ces facteurs se mêlent par des relations de dépendances et d'influence menaçant Alger et ses citoyens plus que jamais et causent des préjudices à sa soutenabilité, provoquant sa stabilité et déchirant son allure d'antan, Alger la *ville blanche*.

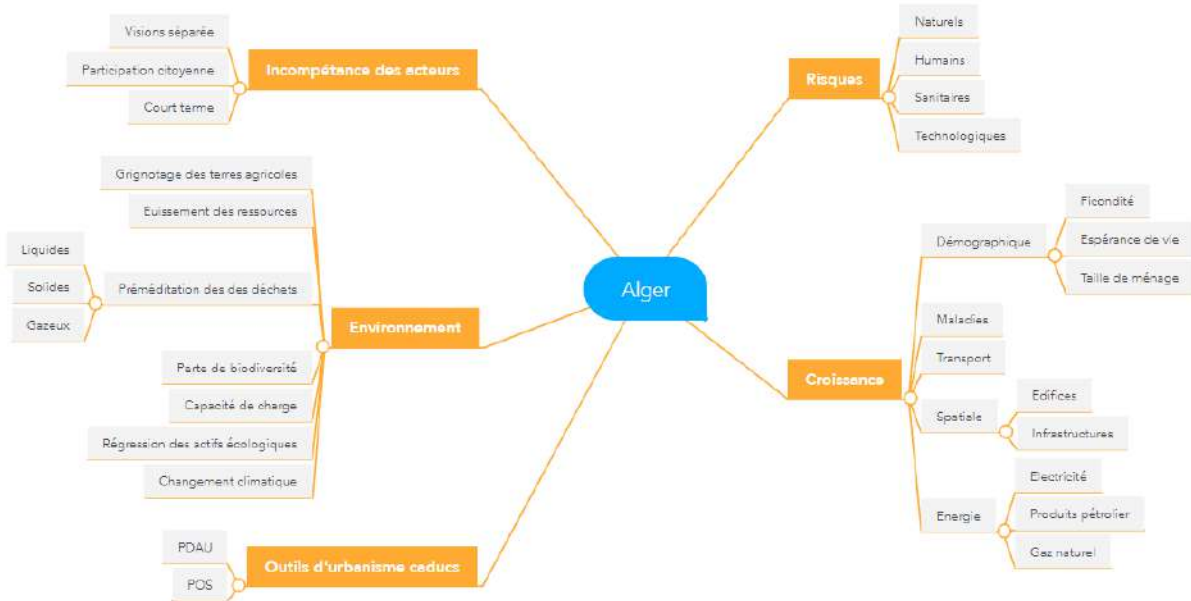
⁵ La bande littorale algérienne représente 4 % du territoire national, rassemble les deux tiers de la population algérienne, par ailleurs, cette bande est très vulnérable et soumise à des risques naturels majeurs (Chabbi-Chermrouk 2014).

⁶ Entre 1960 et 2006, la SAU (Surface Agricole Utile) a fortement baissé passant de 1 ha/hab en 1960 à 0,52 ha en 1970 ; 0,34 ha en 1985 et 0,24 ha en 2008. Ce sont 250 000 ha de terres agricoles qui ont été perdus au profit de constructions (SNAT 2025).

⁷ L'Algérie a connu entre 1961-2007 une augmentation spectaculaire estimée à +208 %, accompagnée par une hausse considérable de l'empreinte écologique par personne de +67 %, et une régression de la biocapacité par personne par de -66%.

⁸ La diminution du rendement agricole observe une évolution modérée des prix des biens alimentaires et des produits manufacturés (+0,3 % et +0,4 %, respectivement). Sachant que les produits agricoles frais observent une hausse de (+0,3 %), quant aux produits industriels évoluent de (+0,2 %) (ONS 2017). Pis encore, le stress économique fait que le pays perd près de 6000 entreprises par rapport à la situation arrêtée au 30-06-2016 (ONS 2017b).

Figure 5 : Schéma heuristique des problèmes d'Alger.



Source : Auteur, 2017.

Alger, au-delà d'être la capitale du pays, le monopole socio-économique, administratif et politique. Alger a misé sur la croissance au point qu'elle s'impose aujourd'hui comme étant la plus grande ville et la plus attractive en Algérie. Toutefois, la ville connaît une croissance spatiale et démographique à un rythme qui va crescendo, son développement est accompagné par une urbanisation galopante, souvent anarchique et forcément génératrice d'échec (Sidi Boumedine 2013). En tant que tels, les risques pour l'environnement s'en trouvent accrus. En outre, la situation de dilapidation du foncier en faveur de l'urbain reflète que le système environnemental n'entre pas dans le jeu de la dynamique de la ville, occulté à cause de l'aspect pétrifié des outils opérationnels et leurs caractères figés aux années 1990⁹ (Berezowska-Azzag 2006). Au fur et à mesure du progrès scientifique, technologique, économique, culturel et à la suite de l'ouverture aux rimes de la mondialisation, ces facteurs ont contribué à façonner une société algéroise moderne et mondialisée qui s'anime par multiplication ; en effet, la prolifération des *cellules anthropiques grises*¹⁰, comme conséquence à cette explosion démographique rapide, a complètement bouleversé les rapports proportionnels entre le système anthropique et le système naturel, une part de ce bouleversement est à cause de l'absence quasi-totale d'un consensus entre les acteurs et les décideurs, privilégiant le système anthropique et omettant le système naturel considéré souvent comme étant un bien commun.

Si l'ancrage territorial et politique pour la lutte contre les changements climatiques et la préservation des milieux naturels est loin d'être une utopie dans le monde, qu'en est-il par

⁹ Le Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme a été initié en 1990. La loi du 1er décembre 1990 relative à l'aménagement et à l'urbanisme, ainsi que les différents décrets d'application consacrent une politique nouvelle en matière d'utilisation de l'espace (Baouni, 2009).

¹⁰ Par cellules anthropiques, nous faisons référence à la prolifération des parcelles et les îlots bâtis.

rapport à l'Algérie ? Sachant que le pays a adhéré à la convention-cadre des Nations Unies sur le changement climatique (CCUNCC) en 1993, il a aussi ratifié le protocole de Kyoto en 2005 et l'un des pays signataires de la COP21 à Paris en 2015. Dans ces circonstances, le pays a élaboré un CPDN dans lequel l'État avait prévu de réduire ses émissions carboniques par 7% à travers des moyens locaux, et par 22% dans le cas où ils recevraient des aides financières externes de la part de partenaires bilatéraux et multilatéraux. La CPDN repose sur un ensemble d'agréats d'organes, Plan National Climat, Agence Nationale du CC, Comité National Climat, Plan National d'Aménagement pour l'environnement et de développement durable en s'appuyant sur un cadre juridique ainsi que la mise en place d'un système de MRV (prévue pour 2016-2020) optant pour l'inclusion des problématiques du climat à toutes les échelles d'intervention. Néanmoins, l'action urbaine en matière de climat n'existe pas, et même si elle existe, elle sera souvent qualifiée d'embryonnaire.

L'ampleur de la situation environnementale chaotique d'Alger est exacerbée par l'absence quasi-totale des outils d'évaluation et de diagnostic de la performance de l'écosystème urbain d'Alger, reflétant l'incapacité des outils d'urbanisme opérationnel (PDAU et POS) à venir à bout avec la croissance exponentielle et d'amortir les impacts exercés sur le système naturel et sa capacité de charge. La ville d'Alger a en effet du mal à soutenir cette croissance de population, à lui fournir des conditions de vie décente, malgré les initiatives qui y ont été déployées étant orchestrées par la mise en place des outils consécutifs de planification urbaine (durant les années, 1970-1980 : empreinte des POG, 1980-1990 : empreinte du PUD, 1990-2000 le passage vers le PDAU et le POS qui deviennent opposables aux tiers). En dépit de ces actions audacieuses, l'action urbaine est encore stérile tout en étant couplée à une vision sectorielle, technocratique et détachée privilégiant un scénario *statu quo*. En tant que tel, les problèmes environnementaux se prolifèrent, le chaos urbain persiste, les menaces et les aléas se tétanisent et représentent un risque majeur à l'horizon.

Dès lors, quelle est la raison de prendre en charge cette dimension dans le domaine de l'urbain en Algérie ? Si toutes les villes du monde, et surtout celles de la région du MENA, ont déjà initié quelques projets flagship en matière de lutte¹¹ contre le changement climatique à travers des mesures d'atténuation et d'adaptation¹². N'est-il pas temps que les outils de planification algérienne prennent en compte une nouvelle dimension ; celle des préoccupations récentes sur le climat ? C'est ainsi l'objectif d'une programmation d'un développement urbain qui se veut soutenable en se référant à des seuils, parmi ces limites, nous prôtons la capacité de charge carbone, un seuil déterminant la population limite tolérée à l'échelon de la Wilaya d'Alger

¹¹ Le Maroc installe la plus grande centrale solaire d'Afrique et devrait porter une puissance de 580 mégawatts, qui s'étale sur une superficie de 137 hectares.

¹² Dans les pays africains tels que Nyando, dans l'ouest du Kenya, la création de villages climato-intelligents a permis à des familles, dont 81 % d'entre elles connaissaient jusque-là qu'un ou deux mois de disette par an, de mieux manger et en plus grande quantité.

pour vivre en diapason avec son budget carbone. Cette réflexion soulève un certain nombre de questions :

- La capacité de charge carbone de l'écosystème urbain algérois peut-elle soutenir -d'une manière autonome- la magnitude des rejets carboniques de son métabolisme socioéconomique ?
- Étant donné que les chaînes de productions-consommations deviennent plus longues et plus complexes, les émissions indirectes (*upstream emissions*) relatives à ce processus prennent une nouvelle dimension dans une société mondiale mondialisée. Dès lors, quelle est la taille de l'empreinte des émissions indirectes d'Alger ?
- Par quel biais peut-on adoucir la signature anthropique du métabolisme socioéconomique Algérois ?

Les réponses à ces questions pourraient permettre de mieux comprendre si le modèle urbain matérialisé à Alger et si le mode de vie des algérois peuvent être considérés comme étant des pratiques soutenables vis-à-vis de l'environnement.

5 Hypothèses de recherche

La présente étude a donc pour but de vérifier :

- *La première hypothèse* : Nous supposons que la capacité d'assimilation des puits de carbone ne peut pas absorber la totalité des outputs gazeux (CO₂) générés par le métabolisme socio-économique d'Alger (lors de la transformation des substances énergétiques par la population algéroise).
- *La deuxième hypothèse* : Les émissions indirectes d'Alger ont le même ordre d'importance que les émissions directes, et si nous réduisons les émissions indirectes, nous serions dans une situation favorable pour amortir la dette carbonique.
- *La troisième hypothèse* : Si la première et la deuxième hypothèse s'avèrent vraies, la modélisation d'un outil d'aide à la décision par la C³ pourrait dérouter le modèle urbain d'Alger vers un modèle moins énergivore et un métabolisme social beaucoup plus autotrophe.

Sachant qu'une telle démarche nécessite une approche pluridisciplinaire afin de pouvoir remodeler Alger après l'ère du pétrole en redessinant son modèle urbain vers un modèle basé sur la soutenabilité tripartite : sociale, environnementale et économique.

6 Objectifs de recherche

La présente recherche s'anime autour de trois objectifs généraux, chacun se décline vers quelques objectifs opérationnels.

- Démontrer que la capacité d'assimilation des puits de carbone ne peut pas assimiler les émissions de dioxyde de carbone d'Alger.
 - Évaluer la capacité des puits de carbone de l'écosystème urbain d'Alger (t CO₂) ;
 - Déterminer le bilan carbone (t CO₂) ;
 - Déterminer la population limite ;
 - Extrapoler la non-durabilité du modèle urbain algérois.
- Démontrer que la dette carbonique n'est pas compensable par les émissions indirectes (upstream emissions).
 - Calculer les émissions indirectes par l'analyse EE-IOA.
- Modéliser l'outil de monitoring-controlling du modèle urbain d'Alger vers la soutenabilité environnementale et la résilience climatique.
 - Représenter graphiquement la logique de l'outil de monitoring-controlling du modèle urbain par le biais de la C³ ;
 - Montrer l'adaptabilité de l'outil de monitoring-controlling avec les lignes directrices du PDAU.

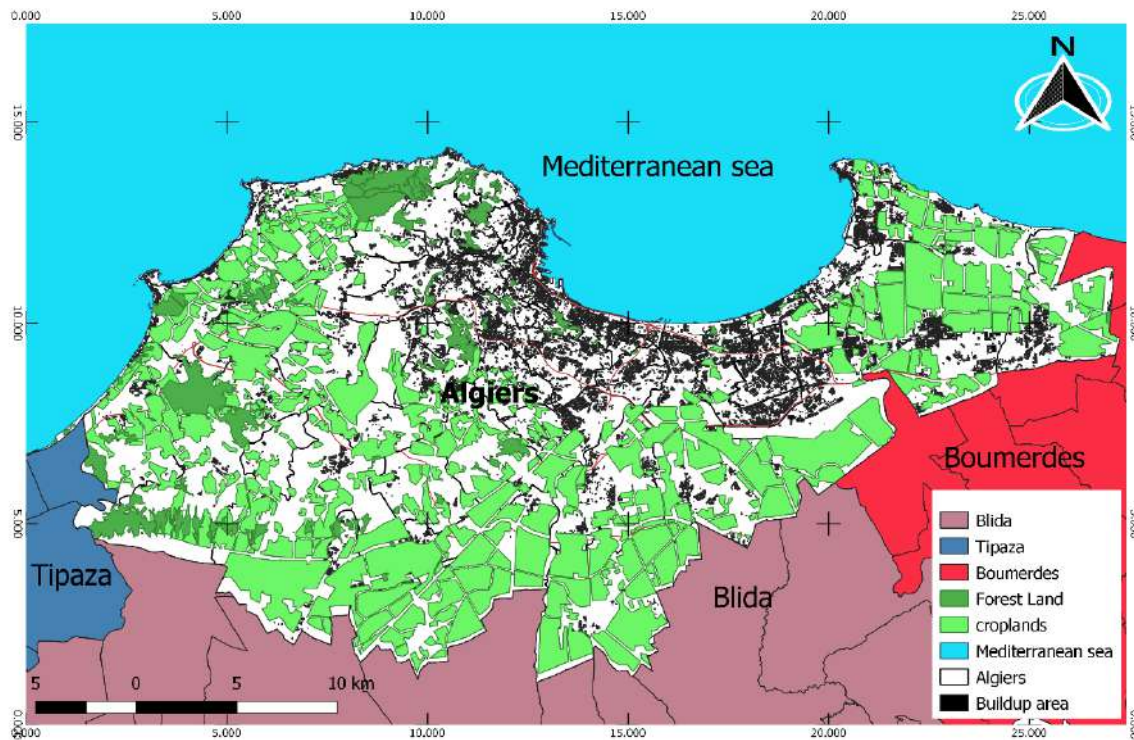
7 Méthodologie de recherche

7.1 Zone d'étude et sources des données

Contexte d'étude

La présente recherche opte pour l'évaluation de la capacité de charge carbone (C³) de la Wilaya d'Alger étant donné qu'elle est la wilaya la plus peuplée d'Algérie (Fig.6). En effet, la zone d'étude a été choisie selon les trois paramètres cités ci-après :

- Alger est la Wilaya la plus peuplée d'Algérie, elle héberge presque 9% de la population algérienne.
- Locomotive économique du pays (avec une concentration d'environ 30% des activités économiques).
- Alger possède la plus forte consommation de combustibles fossiles et un bilan énergétique de 5.088,9 (GMH) par rapport au reste des villes d'Algérie (ONS 2017b, 2017a).

Figure 6 : Actifs écologiques d'Alger (Périmètre d'étude).

Source : Auteur, 2017.

Sources des données pour déterminer le potentiel des puits de carbone

Selon le cycle biogéochimique du carbone, l'atome du carbone flotte entre quatre réservoirs qui sont : la biosphère, la lithosphère, l'hydrosphère et l'atmosphère. De même, chaque bassin de carbone détient une capacité de stockage du dioxyde de carbone en fonction de certains paramètres (zone biologique, zone climatique, type de sol et température). Pour calculer le potentiel de stockage du carbone dans le sol (terres forestières, terres cultivées et prairies), ainsi que la capacité des écosystèmes forestiers à travers la photosynthèse, les données sur les terres forestières et du sol ont été collectées auprès de la Direction des Forêts et de la Ceinture Verte d'Alger (DFCV) et Direction du Service Agricole d'Alger (DSA). Par la suite, il a été calculé à partir du GIEC 2006 en utilisant une approche Tier-1, car les approches Tier 2-3 nécessitent des données locales, qui ne sont pas disponibles à l'échelle d'Alger. En outre, pour calculer la fraction des émissions anthropiques séquestrées par les océans au cours d'une année donnée, la fraction a été tirée de (Khatriwala, Primeau, and Hall 2009), sachant que la même fraction quantitative est actuellement utilisée dans l'évaluation de l'empreinte écologique, voir (Mancini et al. 2016a) pour plus de détails.

Sources des données

- ***Sources des données pour calculer les émissions directes***

Afin de calculer les émissions anthropiques d'Alger, nous avons emprunté l'approche territoriale qui se focalise sur les émissions directes émises par les habitants de la ville. Cette

approche tient compte des *émissions directes* de tous les acteurs socio-économiques (exploitations agricoles, ménages, institutions), cette approche opte à calculer les émissions issues de : **Scope 1** : *émissions directes* : émissions provenant de la combustion du combustible, des déchets, des procédés industriels et de l'utilisation du produit. : Agriculture, sylviculture et autres utilisations des terres à l'intérieur des limites de la ville - à l'intérieur de la ville, territoriale, géographique) et **Scope 2** (*émissions indirectes* d'énergie : émissions de l'électricité achetée et consommée à l'intérieur des limites de la ville). Les données sont collectées de : l'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Énergie (APRUE) et Agence Nationale des Changements Climatiques (ANCC).

- **Sources des données pour calculer les émissions indirectes**

Afin de calculer les émissions indirectes, nous avons collecté les données de l'enquête des dépenses des ménages de la population algéroise auprès de l'Office National des Statistiques (ONS) et les tableaux d'Entrées-Sorties sont récupérés auprès de Eora, s'agissant d'une base de données qui représente la liaison de la chaîne logistique mondiale, elle se compose d'un modèle de table d'Entrées-Sorties Multi-Régionales (MRIO) fournissant une série chronologique de tableaux d'E/S de haute résolution avec des comptes satellites environnementaux et sociaux correspondant à 190 pays.

7.2 Méthode

(i) Méthode pour calculer la capacité des puits de carbone

La capacité de charge du carbone (C^3) d'Alger est estimée comme indiqué dans l'équation (Eq.1) suivant les lignes directrices du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre :

Équation 1

$$\text{Capacité de stockage de carbone} = \sum(C_{\text{Sol}} + C_{\text{mer}} + C_{\text{photosynthèse}} + C_{\text{technologie}})$$

D'où :

C_{sol} : Capacité des sols à emprisonner le carbone (t C) dans les prairies et les terres cultivées via la respiration du sol, cette opération consiste à évaluer la variation annuelle des stocks de carbone dans les sols, tons C an⁻¹. Cette capacité de stockage se mesure en prenant en considération de (i) la variation annuelle des stocks de carbone organique dans les sols minéraux, tons C an⁻¹, (ii) la perte annuelle de carbone des sols organiques drainés, tons C an⁻¹, (iii) variation annuelle des stocks de carbone inorganique des sols, tons C an⁻¹ (supposée égale à 0 sauf si l'on utilise une approche de niveau 3 -Tiers 3-).

C_{mer} : Capacité des océans (Wetlands) à absorber le carbone (t C). L'océan du globe terrestre est un puits important pour le carbone anthropique (C_{ant}), absorbant environ un tiers du CO₂ humain émis pendant la période industrielle. Il est donc important de disposer d'estimations

fiables de l'ampleur et de la variabilité du stockage et de la répartition du carbone anthropique dans l'océan pour comprendre l'impact de l'homme sur le climat.

$C_{\text{photosynthèse}}$: Capacité des terres forestières à séquestrer le carbone (t C). Cette capacité de stockage se mesure via (i) la variation annuelle des stocks de carbone dans la biomasse (somme de la biomasse aérienne et souterraine) pour chaque sous-catégorie de terres en considérant la superficie totale, ton C an^{-1} et (ii) l'augmentation annuelle des stocks de carbone due à la croissance de la biomasse pour chaque sous-catégorie de terres, en considérant la superficie totale, en tons C an^{-1} .

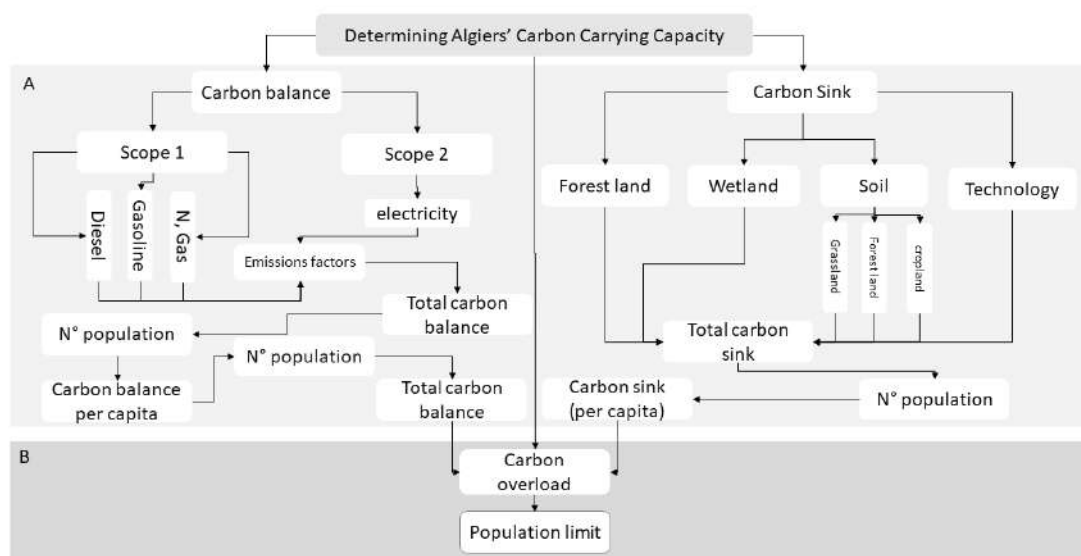
$C_{\text{technologie}}$: Capacité des technologies à stocker le carbone (t C). Cette capacité de stockage se mesure via la prise en compte de (i) l'efficacité du système de captage du CO_2 (en pourcentage), (ii) la quantité captée de carbone dans le flux de CO_2 (kg), (iii) la quantité de carbone dans les combustibles fossiles ou la biomasse utilisée par la plante (kg), (iv) la quantité de carbone dans les produits chimiques carbonés ou combustibles de la plante (kg).

Pour une méthode plus détaillée, veuillez consulter l'annexe A.01.

(ii) Méthode pour calculer les émissions territoriales

Le bilan de consommation énergétique de la Wilaya d'Alger (fuel, gaz, électricité) a été collecté auprès de l'APRUE. Ensuite, le bilan de consommation énergétique a été multiplié par les facteurs d'émissions (propre à l'Algérie) pour calculer le bilan carbone. Ensuite, pour calculer les émissions par personne, le bilan de carbone total a été divisé par le nombre de population d'Alger (Fig.7).

Figure 7 : Méthodologie adoptée pour évaluer la capacité de charge de carbone d'Alger.



Source : Auteur, 2019.

(iii) Méthode pour calculer les émissions indirectes

Pour calculer les émissions indirectes, nous avons utilisé la méthode d'analyse des Entrées-Sorties élargie environnementalement "*Environmental-Extended Input-Output Analysis (EE-IOA)*" qui se base sur des bases de données Multi-Régionales MRIO '*Multi Regional Input Output tables*' d'Eora et les dépenses par personne/ménage de chaque ville, appelé aussi vecteur de consommation externe. Cette méthode est largement utilisée pour évaluer l'empreinte relative à l'eau, le carbone, l'écologie, la biodiversité et le nitrogène...etc., en utilisant une unité monétaire (USD \$) ou physique (kg). Pour calculer l'empreinte carbone d'un Algérois, nous avons suivi les étapes suivantes :

Pour une brève introduction à Eora, veuillez consulter l'annexe A.02.

1. Calculer vecteur d'intensité directe (*direct intensity vector*) donnant les émissions de CO₂ par 1 USD \$ d'output. Ce vecteur (array), a été produit en additionnant la matrice de transaction intermédiaire (T) et la matrice de demande finale (Y) afin de créer le vecteur (Xout). Ensuite, nous avons tiré l'indicateur environnemental de la matrice de compte satellite (dans notre cas, l'empreinte carbone qui est stockée dans la ligne 2,709 de la matrice (Q)), l'indicateur est basé sur des estimations d'EDGAR '*Emissions Database for Global Atmospheric Research*'. Ensuite, nous avons divisé l'indicateur environnemental de carbone par le vecteur de production totale (Xout).

Équation 2

$$X_{out} = \Sigma(T + Y)$$

Équation 3

$$f = \left(\frac{Q_{(2709)}}{X_{out}} \right)$$

2. Créer la matrice des coefficients techniques (*technical coefficient matrix*) dénommée *A matrix* donnant la quantité l'input qu'un secteur donné doit recevoir d'autres secteurs pour créer 1 USD \$ d'output. La matrice (A), également appelée *matrice des besoins directs* est calculée en divisant la matrice des transactions intermédiaires (T) par le vecteur de la production totale (Xout), le produit est une matrice ayant la même dimension que la matrice des transactions intermédiaires (T). Ensuite, nous avons créé la matrice d'identité (I) ayant également la même longueur que la matrice de transaction intermédiaire (T) 14,839 lignes par 14,839 colonnes. Imaginez la matrice d'identité (I) comme étant une matrice remplie de zéros (0), mais sa diagonale est remplie de uns (1). Après cette étape, nous avons calculé l'inverse de Wassily Leontief en soustrayant la matrice d'identité (I) de la matrice des besoins directs (A) et en l'inversant. Ce processus donne une matrice (L) ayant les mêmes dimensions que la matrice des transactions intermédiaires (T).

Équation 4

$$I = np.eye(14, 836)$$

Équation 5

$$A = \frac{T}{x_{out}}$$

3. Calculer le vecteur de l'intensité total (*total intensity vector*) qui donne les émissions de CO₂ associées par 1 USD \$ d'output pour le vecteur demande finale "*final demand vector*". Nous avons calculé le vecteur d'intensité totale (F) en multipliant la matrice (L) par le vecteur d'intensité directe (f). Le résultat donne un vecteur d'intensité directe du carbone pour 1 USD.

Équation 6

$$F = f * (I - A)^{-1}$$

4. Calculer les émissions indirectes (*upstream emissions*) via la multiplication du vecteur d'intensité total avec le vecteur de la demande finale, après avoir été converti de la devise locale DA vers l'USD \$. Remarquez que le vecteur de la demande finale représente un vecteur monétaire externe. En fait, ce vecteur est produit en faisant correspondre les valeurs des éléments de l'enquête sur les dépenses de consommation des ménages (pour notre cas de la ville d'Alger) à la classification des secteurs d'Eora (qui sont au nombre de 26). Après le processus d'appariement des valeurs de l'EDM au secteur d'Eora, nous avons produit le vecteur de demande finale de la ville (Y_A), en convertissant les monnaies locales (le dinar algérien dans notre recherche en monnaie internationale, qui est l'USD). Afin de convertir les valeurs locales en USD nationaux, nous avons utilisé les taux de change de la Banque Mondiale (BM).

Là encore, ce processus n'est pas encore terminé. Il faut savoir que le vecteur d'intensité totale (F) a été calculé dans les prix de base, tandis que le vecteur de demande finale de notre ville (Y_A) est dans les prix d'achat. Ce qui signifie que l'un des deux vecteurs doit être transformé, que ce soit en réduisant le vecteur de demande finale de la ville des prix d'achat aux prix de base, ou en augmentant le vecteur d'intensité totale (F) des prix de base aux prix d'achat. Dans notre recherche, nous avons cherché à faire passer le vecteur de l'intensité totale (F) des prix de base aux prix d'achat.

Pour faire passer le prix d'un objet donné du prix de base au prix d'achat, nous devons y ajouter (i) la marge commerciale, (ii) la marge de transport (iii) les taxes et moins (iv) les subventions. Toutefois, il est pertinent de souligner que le commerce et le transport d'un objet donné sont également associés à des impacts environnementaux, c'est-à-dire que le commerce et le transport de biens et de services émettent effectivement du CO₂, contrairement aux taxes et aux subventions qui ne sont que des transferts monétaires, en

tant que tels, ils ne sont associés à aucun impact environnemental d'un quelconque indicateur.

Une fois que nous avons terminé cela, nous avons pu multiplier le vecteur d'intensité totale (F) dans les prix d'achat par le vecteur de demande finale de la ville (Y_A) dans les prix d'achat pour calculer l'empreinte carbone totale de chaque secteur (E_A) pour un dollar (1 USD) pour une année donnée.

Équation 7

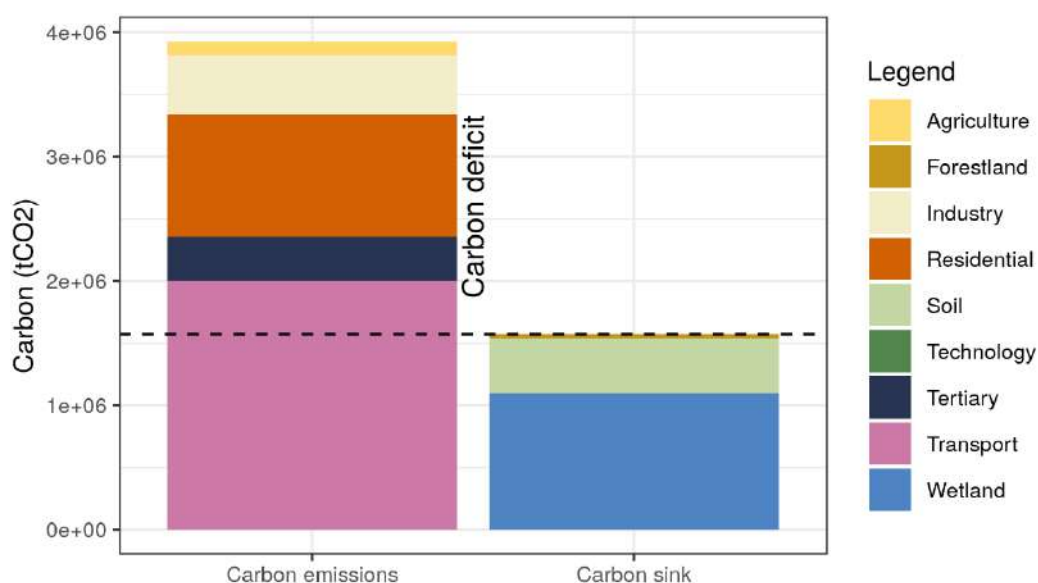
$$\text{Empreinte carbone d'Alger} = (F * Y_A)$$

Pour une méthode plus détaillée, veuillez consulter l'annexe A.03.

7.3 Aperçu des résultats

Les résultats de notre étude montrent que les déchets carboniques générés par le métabolisme socioéconomique d'Alger dépassent la capacité de ses puits de carbone. En effet, pour qu'Alger vive dans le cadre de son budget carbone, les décideurs politiques et les autorités locales doivent, dans la mesure où la trajectoire actuelle en matière de consommation énergétique et de substance serait maintenue, s'efforcer de limiter la population algéroise à 1 268 963 habitants, ce qui représente un tiers de la taille de population actuelle, ou à introduire et à généraliser l'énergie décarbonisée pour la consommation des ménages et les transports, ou encore d'augmenter la superficie des actifs écologiques d'Alger à 36 709 ha (Fig.8). Cette étude démontre aussi que 50% des émissions carboniques émises par la société algéroise (à l'échelle du Grand Alger) sont des émissions indirectes auxquelles aucune mesure n'est prise, soit à l'échelle nationale ou locale.

Figure 8 : Les émissions territoriales et la capacité de stockage du carbone d'Alger.



Source : Auteur, 2019.

o Positionnement épistémologique

Le positionnement épistémologique dont nous faisons partie est celui du courant *positiviste*¹³, ce courant de pensée est inauguré par Émile Durkheim et possède plusieurs toponymies : néo-positiviste, empirisme logique, empirisme rationnel. L'idée la plus répandue selon laquelle l'usage des outils de recherche *quantitatifs* est réservé aux recherches *positivistes*, qui se basent généralement sur une approche quantitative, car seulement les données mesurables sont collectées et analysées dans notre recherche.

o Agrégation des résultats et visualisation

Pour des raisons d'espace et de clarté, les résultats sectoriels détaillant les émissions de carbone et la capacité des puits de carbone ont été regroupés en deux catégories. La composition des catégories est :

Les résultats détaillant les émissions carboniques ont été regroupées en deux catégories :

- *Scope 1* : englobant les émissions directes issues de la combustion des énergies fossiles et regroupant les secteurs (industriel, agriculture, forestier, production d'électricité et transport routier) ;
- *Scope 2* : englobant les émissions indirectes issues de l'utilisation de l'électricité et regroupant les secteurs (résidentiel-tertiaire, équipements et transport sur rail).

Les résultats détaillant la capacité des puits de carbone ont été agrégés en quatre catégories :

- ❖ Capacité d'emprisonnement du carbone dans les sols ;
- ❖ Capacité de séquestration du carbone via la photosynthèse ;
- ❖ Capacité d'absorption du carbone par les océans ; et
- ❖ Capacité de stockage technologique (CSC).

Dans ce travail de recherche, toutes les cartes et les figures sont créées par Qgis, R et Python.

5.6. Limitations de recherche

¹³ Ce paradigme est emprunté dans plusieurs disciplines, nous citons : l'économie (pour mesurer la richesse des pays, stock de denrées, etc.), la médecine (pour évaluer l'état sanitaire d'une population, mortalité, etc.), agronomie (recherche des meilleures variétés d'étude des modes de culture, évaluer l'efficacité des engrais, etc.), industrie (pour l'organisation d'un travail, gestion des entreprises, contrôles de la qualité des fabrications, etc.), sociologie (sondage d'opinion, etc.), linguistique (fréquences d'apparition de mots, de lettres, etc.), commerce (évaluer le volume des ventes, procédures d'inventaire, etc.), éducation (mesures et tests liés au processus d'apprentissage, etc.), assurances (détermination de la moralité, détermination des primes pour chaque catégorie, etc.), santé (coût des soins, des frais d'hospitalisation, etc.).

Il convient de noter des limites potentielles dans notre recherche liées principalement aux données qui ont affecté nos calculs et conclusions, ces limites peuvent être regroupées en trois grandes faiblesses :

- *Disponibilité des données* : la rareté des données de consommation d'énergie, souvent l'information n'existe pas, et si elle existe, elle est souvent qualifiée de confidentielle (Sonelgaz, APRUE, ANCC). La collecte de données locales authentiques, correctes et de très grande résolution aurait pu fournir un cadre d'analyse beaucoup plus précis et de déclarer, avec un degré de précision et de confidentialité beaucoup plus élevés, la structure économique d'Alger et la typologie de la société algéroise (*consommatrice, productrice ou balancée*), mais également elles permettent mieux de calculer, attribuer et représenter les émissions territoriales et virtuelles d'Alger,
- *Représentation des données* : les données de consommation d'énergie sont agrégées selon des catégories globales (transport, habillement, nourriture...etc) avec une résolution sectorielle très réduite, en effet, les données collectées ne permettent pas une compréhension exhaustive et l'allocation correcte des émissions carboniques aux secteurs responsables. En tant que telle, la correspondance des valeurs de la paire de l'enquête sur les dépenses extérieures avec la classification sectorielle d'Eora (26 secteurs) peut être trompeuse. Remarquez que le vecteur de la demande finale externe de la ville d'Alger (Y) n'est pas tout à fait complet et correct, car souvent les consommateurs notent une valeur de dépenses et de revenus inférieures, pour des raisons de confidentialité, de nombreux consommateurs finaux ne répartissent pas non plus leurs dépenses de manière responsable. Par exemple, supposons qu'un homme vivant à Alger dépense une partie de son revenu pour des boissons alcoolisées, cette personne n'attribue pas cette partie de dépense au secteur 'boissons alcoolisées' à cause de la culture locale, mais elle attribue le même montant de dépenses à d'autres secteurs tels que : vêtements, santé ou encore celui de l'éducation ou tout autre secteur. Cette pratique de fausse allocation aura un impact sur les études relatives aux mécanismes comportementaux et aux calculs des impacts environnementaux.
- *Ancienneté des données* : la présente recherche souffre de l'ancienneté des données, telle que l'Enquête de Dépense des Ménages (EDM) qui date de 2011, or, le bilan carbone établi pour cette recherche date de 2016 (date du bilan énergétique le plus récent). Hélas, la production de données dans les pays à revenu intermédiaire (PRI), y compris l'Algérie, n'est pas encore établie et réglementée par le gouvernement. Le manque de données représentera un grave problème pour la surveillance et le contrôle des impacts environnementaux qui doit être résolu le plus rapidement possible. En outre, les données doivent être générées de manière exhaustive, en suivant, au mieux, les structures de données des États-Unis, en particulier celles liées aux tableaux d'Entrées-Sorties, ou au moins, les structures de données de l'Union Européenne ou celles de l'Organisation de Coopération et de Développement Économiques (OCDE).

7.4 Structure de thèse

Notre thèse subit une répartition tripartite. Tout d'abord, nous y commençons par une introduction générale dans laquelle nous mettons en relief la problématique entre la croissance démographique et les émissions de CO₂ et leurs répercussions sur la capacité de charge environnementale. Nous enchaînons avec les liens des débats et des controverses des relations entretenues entre Homme-Nature, et nous y contemplons pourquoi l'homme est considéré comme étant un facteur de déséquilibre de notre monde contemporain, et par quel biais peut-on dérouter son impact afin d'éviter l'anthropocène (Fig.9).

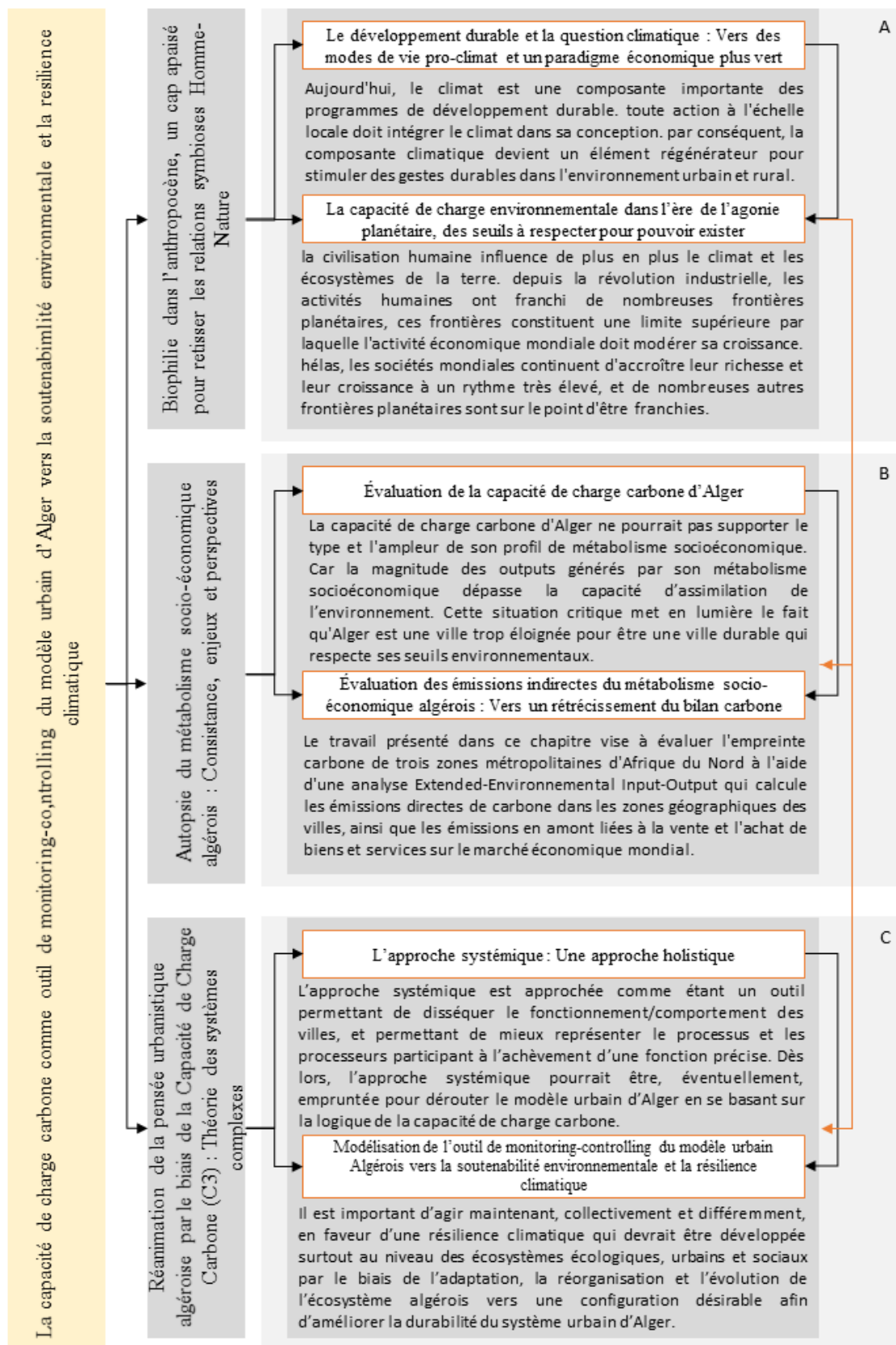
Première partie : Dans laquelle nous allons exposer les concepts clés de notre recherche, en particulier, nous y dressons les questions relatives aux développements durables et au climat, dans leur sens le plus large, à l'échelle des villes, nous y exposons également le flou sémantique et quelques nuances entre les concepts tels que « *la croissance durable* » et « *le développement durable* », cette partie polarise l'intérêt sur trois mots-clés qui sont : la capacité de charge environnementale, le climat et le développement durable. Les interrelations entre les concepts sont remises en cause dans cette partie, la complexité du développement durable est remise à niveau pour dérouter la trajectoire géologique effrayante du monde contemporain vers un chemin plus stable.

Deuxième partie : Cette partie se scinde en deux chapitres. Dans le premier, nous évaluons la capacité de charge carbone de la wilaya d'Alger, nous déduisons le seuil de population que la biocapacité d'Alger peut soutenir, et nous extrapolons la non-durabilité du modèle urbain d'Alger et, par voie de conséquence, la non-durabilité des modes de vie de la société algéroise. Dans le deuxième chapitre de cette partie, nous calculons les émissions carboniques indirectes issues du métabolisme social algérois, ces émissions indirectes sont relatives à l'achat des produits et services achetés par les consommateurs finaux du marché économique national et international.

Troisième partie : Cette partie se focalise sur une exposition exhaustive de la théorie de modélisation systémique, sa philosophie, sa genèse, sa métamorphose, sa silhouette holistique et ses bornes théoriques. Cette partie sera clôturée par la représentation du modèle de monitoring-controlling censé dérouter le modèle urbain algérois vers la soutenabilité environnementale et la résilience climatique, nous y montrons, par voie de conséquence, l'adaptabilité de cet outil avec les lignes directrices du PDAU.

Le document se synthétise par une conclusion générale dans laquelle nous allons affirmer ou infirmer les hypothèses, en finissant la dissertation par des recommandations et perspectives pour une future recherche.

Figure 9 : Structure de thèse.



Première partie : Biophilie dans l'anthropocène, un cap apaisé pour retisser les relations symbioses Homme-Nature

Chapitre I : Le développement durable et la question climatique : Vers des modes de vie pro-climat et un paradigme économique plus vert

« *L'homme perturbe l'équilibre des processus naturels en ajoutant chaque année des milliards de tonnes de dioxyde de carbone dans l'atmosphère.* » **Mark Maslin, 2004, p26.**

Introduction

Au-delà des fragilités écologiques et environnementales, la mondialisation s'éclore dans notre monde moderne accompagnée par une augmentation faramineuse des inégalités socio-économiques, et socio-spatiales sur la carte du globe, ainsi le maintien et la pérennité de celles-ci. Les flux socio-économiques et les problèmes géopolitiques ont forgé une trajectoire si effrayante, en effet, depuis la Révolution Industrielle jusqu'à aujourd'hui l'idéologie de *laissez-faire* a conduit à l'émergence de nombreux symptômes qui sont souvent qualifiés comme *le syndrome de la mondialisation* telle que le déséquilibre social, précarité de nature et la mise en place d'une scène politique fraudieuse conduisant à la dissolution des liens sociaux et à l'élargissement de l'empreinte écologique. Dans ce contexte, le terme du développement durable est né, un terme porteur d'une équité sociale, efficience environnementale et efficacité économique. Au-delà de ces trois piliers, au-delà de ces principes, axiomes et valeurs, le terme viserait la refonte de cette société mondiale mondialisée en retissant les liens entre les individus pour reconstruire l'idée de *l'humanité* et ensuite à rétrocéder aux liens entre l'humanité et la nature pour permettre la survie de celle-ci.

Cependant, la population humaine aura atteint neuf-milliards à l'aube de 2050, les pressions qu'elle accompagne seront colossales. Depuis la Révolution Industrielle, les pressions environnementales ont pris une nouvelle dimension très alarmante, dès lors, la définition du développement durable devrait être repensée et redimensionnée pour inclure les sécurités des cycles biologiques et certains cycles bio-essentiels qui régissent la biosphère. Ce qui est de grave est que le chamboulement des cycles biologiques reflète que l'humanité avait poussé plusieurs seuils. La capacité hospitalière de la planète se trouve réduite, tandis que la taille de la population se trouve accrue, ce paradoxe a donné naissance à une nouvelle époque géologique baptisée *anthropocène* dans laquelle c'est l'homme, et non plus les forces naturelles, qui représente un danger à la planète Terre.

Quoi qu'il en soit, plusieurs chercheurs débattent que la civilisation urbaine n'est pas compatible avec les desseins du développement durable, et si nous continuons à vivre avec ce modèle, nous ne pourrons jamais être une société éco-compatible avec les valeurs de soutenabilité et responsable en matière de mode de vie souhaité et admissible vu que les actions en faveur du développement durable sont souvent méprisées, et déraillées par des conflits entre les objectifs individuels (l'approvisionnement de l'énergie) et les objectifs planétaires (la lutte contre les changements climatiques et la perte de la biodiversité).

1.1 Le développement durable entre un oxymore paralysant et un chiasme mouvant.

Suite à la dégradation du capital naturel et la prolifération des problèmes environnementaux liés à l'activité humaine, l'humanité commença à prendre conscience des impacts qu'elle déploie sur son environnement. En effet, en 1968, c'était la première fois que l'on s'improvisait à remettre en cause le modèle économique des pays industrialisés lors de l'Appel de Club de Rome. Un groupe de chercheurs américain publia en 1972 la fameuse *Halte à la croissance*, pour affirmer la nécessité d'associer la protection de la nature à la croissance économique. En l'occurrence, le premier sommet des Nations Unies sur l'environnement humain a eu la même année. En 1987, en reprenant l'esprit de la Conférence de Stockholm, Madame Brundtland avait préparé son rapport intitulé "notre avenir pour tous" (*Our Common future*), ce rapport a introduit la notion de développement durable « *sustainable development* », en mettant l'accent sur le fait que l'appauvrissement des populations est dû à la croissance des problèmes environnementaux à l'échelle planétaire.

Le pillage des matières premières, l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre, la dégradation rapide et spectaculaire des équilibres écologiques... etc., tous ces constats ont été au sein des préoccupations traitées lors du sommet de la terre à Rio. Les engagements qui ont été pris à Rio sont caractérisés par de nombreuses mesures touchant entre autres à l'activité industrielle, le transport, la maîtrise de l'énergie et la gestion des déchets. Ces mesures dites *radicales* incitent les pays du globe à remettre en cause la manière dont ils vivent et à préserver leurs ressources naturelles (Gauzin-Müller 2001:2; Wackermann 2008:241).

1.1.1. Le développement durable une définition en pleine métamorphose

La définition du développement durable est relative à deux composantes, la première est relative à sa polysémie en fonction du nombre des acteurs qu'ils utilisent et leurs colorations de profil. La deuxième renvoie principalement aux circonstances spatio-temporelles, sachant que depuis son apparence sur la scène scientifique et littéraire lors du rapport de Brundtland en 1987, le terme devient une expression abondamment utilisée de nos jours, volontiers déclinée sur un regard de nombreux thématiques tels que l'urbanisme, l'agriculture, l'énergie, le transport, etc. (Wackermann 2008:282). Le concept a été défini comme étant : « *un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs* ». Cette définition met en avant que le

développement n'est pas statique, putréfié, mais plutôt maniable pour garantir la vie et l'équilibre dynamique dans la durée (Daly 1990; Gauzin-Müller 2001). Or, cette définition est largement critiquée par les chercheurs et même les partisans du développement durable, du fait que nous ne savons pas combien il y aura de population dans la génération à venir et quels seront leurs besoins. Graymore, quant à lui, avança deux constats : (i) le premier consiste à dire que la définition du développement durable avancée par Mme Brundtland ne met pas en avant la non-durabilité du système économique, (ii) le deuxième constat stipule que cette définition ne reconnaît pas des limites à la croissance démographique (Graymore 2005). Dans ces circonstances, En 1992, Daly avec ses collaborateurs (Costanza and Daly 1992a), en se basant sur un raisonnement mathématique, avançait que la soutenabilité était un concept issu d'une idée simple (Fig.10), dans laquelle il suffit de satisfaire deux paramètres :

- Le rythme de consommation des ressources renouvelables ne doit pas dépasser le rythme de régénération de celles-ci ; et
- Le rythme des émissions des déchets ne devrait pas excéder la capacité d'assimilation de l'environnement.

Cependant, il est important de mettre en relief l'émergence de cette nouvelle idéologie, souvent qualifiée comme étant une réaction aux mutations socio-économiques affectant notre monde moderne. En effet, en 1970, l'émergence de l'écologie des écologistes, très orientée idéologiquement, est apparue pour remettre en cause de multiples certitudes en Europe occidentale. Cette nouvelle tendance est survenue comme une réaction aux systèmes libéralisme et socialisme, car ils ne prennent pas en compte la dimension environnementale, car cela ne se présentait pas avec acuité à l'époque. Néanmoins, aujourd'hui, les dégradations environnementales, autrement dit, les dégradations des services écologiques représentent un défi énorme vu qu'elles mèneront certainement au collapse de la population, aussi bien animale qu'humaine. Avec cette nouvelle tendance, comme ç'a été caricaturée par Michel Serre, *les écologues ont commencé à faire perdre aux scientifiques purs et durs leur arrogance*. Car les scientifiques de l'époque industrielle ont misé beaucoup plus sur l'optimisation des procédures de production sans se soucier pour autant des problèmes déployés par celles-ci.

Figure 10 : Conseil d'orientation sur le développement durable de "Notre Avenir pour Tous".

WHAT IS TO BE SUSTAINED	FOR HOW LONG ?	WHAT IS TO BE DEVELOPED
Nature	25 years	People
Earth	«Now and in the future »	Child survival
Biodiversity	Forever	Life expectancy
Ecosystem		Education
Life support		Equity
Ecosystem services		Equal opportunity
Resources	LINKED BY Only Mostly But And Of	Economy
Environment		Wealth
Community		Productive
Culture		Services
Groups		consumption
Places		Society
		Institutions
		Social capital
		States
		Regions

Source: Conseil National de la Recherche des Etats-Unis, 1999.

Selon Alain, « le concept de développement durable suppose l'établissement d'une relation entre le nécessaire développement économique et (...) une saine gestion de l'environnement. Cette gestion n'est pas supposée durable que si les ressources font l'objet d'une exploitation saine telle que de génération en génération, les conditions globales de la vie des populations ne puissent que s'améliorer » (Miossec 2001). Selon Claude Berdinet, le développement peut être défini comme résultant d'action dont l'effet sur l'environnement n'est pas passager (Bardinet 2007). Ce concept se base sur trois principes :

- La prise en considération de l'ensemble du cycle de vie des matériaux ;
- Le développement de l'utilisation des matières premières et des énergies renouvelables ;
- La réduction des quantités de matières et d'énergies utilisées lors de l'extraction des ressources naturelles, de l'exploitation des produits et de l'élimination ou le recyclage des déchets.

Pour certains, le concept de développement durable tente de coupler les aspirations d'un développement soutenable avec la nécessité de préserver l'intégrité de la biosphère et le fonctionnement des systèmes basiques de la planète (Kates, Parris, and Leiserowitz 2005:9). Toutefois, la définition de ce concept n'est pas restée figée, Griggs et ses collaborateurs avançaient que nous devons nous pencher sur une nouvelle définition, qu'elle soit en diapason avec les caractéristiques de l'anthropocène, le développement durable serait défini comme étant un développement qui répond aux besoins du présent et préserve l'intégrité de la biosphère, dont dépend la génération actuelle et future (Griggs et al. 2013).

À cause de la pluralité et la diversité des définitions du développement durable, plusieurs termes apparaissent et deviennent des sosies, d'où la difficulté d'en faire le tri. Les termes développement durable (*Sustainable development*) et croissance durable (*Sustainable growth*) deviennent trop similaires, quoiqu'elles s'opposent. Pour Daly, la première étape que nous devons faire envers la soutenabilité est d'adopter une définition précise à chaque mot (Daly 1990). Selon Herman, *la croissance* « *growth* » est une croissance spatiale naturelle via l'addition des matériaux à travers le rajustement ou l'assimilation ou l'accroissement, par opposition au développement, qui veut dire déployer, dilater, s'étendre ou bien se rendre compte des potentialités de quelque chose, amener progressivement au plus grand ou bien meilleur état. Succinctement, la croissance implique une dimension quantitative, une augmentation dans l'échelle physique, tandis que le développement implique l'amélioration qualitative. Par-là, nous comprenons qu'une ville pourrait connaître un processus de croissance sans développement, comme elle pourrait se développer sans s'accroître. En vue d'écarter les contradictions, nous utilisons le terme *développement durable* aspirant un développement tout en respectant les limites écologiques plutôt qu'à la *croissance durable* qui représente un mauvais oxymore (Costanza and Daly 1992b).

1.1.2. Dichotomie idéologique du développement durable

Le développement durable donna naissance à deux approches, parfois considérées opposées (anthropo-centrée/éco-centrée), cette dualité d'approches est apparue lors de la conférence de Rio. Ces deux courants de pensée optent pour le positionnement de la sphère environnementale par rapport à leurs préoccupations et à leurs intérêts. La sphère environnementale se trouve alors flexible entre les deux dérives idéologiques *pro-croissance* et *anti-croissance*. Le premier courant justifie la protection de la nature par le biais de son utilité pour l'homme, cette opposition est défendue par la FAO qui cherche à contrôler le plus rationnellement possible le patrimoine de l'humanité¹⁴. Le deuxième courant défendu par les

¹⁴ C'est pourquoi les forêts sont considérées comme véritable symbole d'une nature en péril, surexploitée et menacée.

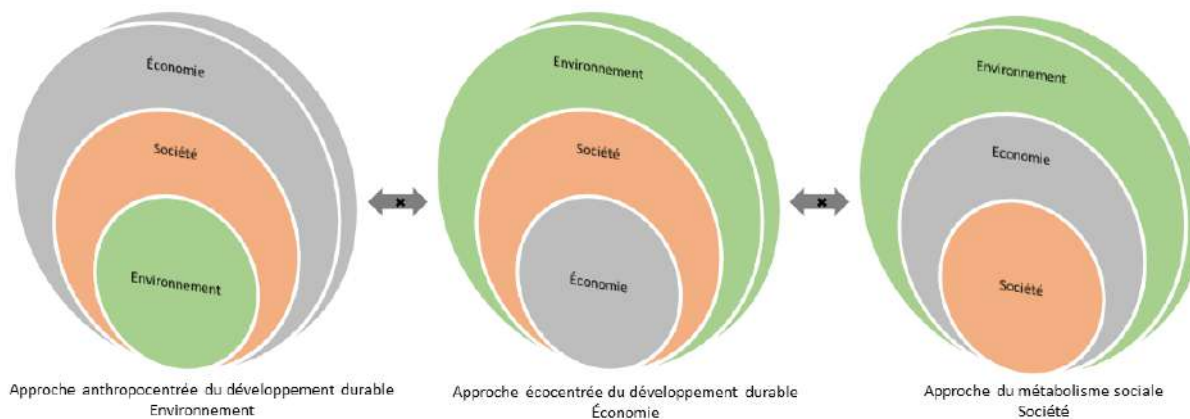
ONG de protection de la nature, défendant que la nature devrait être protégée pour elle-même en se référant à des principes moraux et éthiques¹⁵.

Le premier courant *écocentrée* (issu d'un écocentrisme de l'homo-ecologicus) cette idéologie est définie par les environmentalistes, par opposition, aux adeptes de faible durabilité s'inscrivant en faux contre le système économique dominant basé sur la croissance, un système qui ne peut être durable s'il menace son support écologique (Passet 1979). Cette idéologie environmentaliste du développement durable définissant les écosystèmes et les actifs environnementaux comme *capital naturel critique*, un capital qu'il est nécessaire de préserver. Cette vision opte pour la protection et la préservation de tous les êtres vivants, et consiste à dire que la sphère des activités économiques est incluse dans la sphère des activités humaines, elle-même incluse dans la biosphère. C'est la vision prônée lors de la conférence de Stockholm en 1972, principalement centrée sur l'environnement.

Le deuxième courant suit une idéologie *anthropocentrée* (issu d'un anthropocentrisme de l'homo-economicus), ses troupes sont souvent qualifiées comme des partisans de l'approche néoclassique de développement durable, approche dite de *faible durabilité* (Common and Perrings 1992). Ils considèrent que la nature n'a qu'une valeur instrumentale et comptent sur le progrès technique pour pallier tous les dommages environnementaux. Ils partagent l'idée que les actions de l'homme et son taux d'implication dans la nature, ou autrement dit, dans les écosystèmes, sont considérés comme une mesure d'évolution de notre race humaine et dans laquelle l'homme occupe une place importante par son impact suite aux progrès techniques, technologiques et industriels qui lui attribuent un pouvoir transformateur de la nature. En d'autres termes, le développement durable dans cette conception vise à favoriser un état d'harmonie entre ce qui est anthropique et ce qui est naturel. Cette approche s'illustre par l'exemple du *changement climatique*, elle s'intéresse en particulier aux causes des changements climatiques qui sont attribuées essentiellement à l'homme par son utilisation massive des ressources naturelles et d'énergie fossile, la déforestation, la pollution de l'air, de l'eau, du sol, entre autres, l'homme serait le seul acteur et processeur de cette nature. Ceux qui partagent ce courant de pensée visent la maximisation des indicateurs économiques et identifient ainsi l'économie comme une sphère qui englobe les autres sphères, respectivement, sociale et environnementale. C'est la vision prônée lors de la conférence de Rio en 1992 essentiellement centrée sur la croissance.

¹⁵ Cette interprétation est celle notamment de la *World Conservation Strategy* qui insiste sur la conservation destinée à maintenir le processus écologique essentiel, à travers la préservation de la diversité génétique et une utilisation raisonnable des espèces et des écosystèmes.

Figure 11 : *Les dérives idéologiques des partisans de l'approche écocentrée et anthropocentrée.*



Source : Auteur, 2017.

Cependant, nous constatons que la sphère sociale est toujours comprise entre les deux sphères environnementale et économique (Fig.11). Ewa Berezowska-Azzag, en 2008, avance une modélisation en cercles concentriques, à l'instar des idéologies de pro-croissance et anti-croissance de la soutenabilité en insistant sur le facteur social qui produit l'activité économique, la société humaine, à son tour puise et rejette dans l'environnement (*métabolisme social*). Elle avance que la société est bien *le maître et le gouvernant* de ces relations, elle devrait chapeauter la trilogie, et se positionne alors au sommet de la hiérarchie (Berezowska-Azzag 2008a).

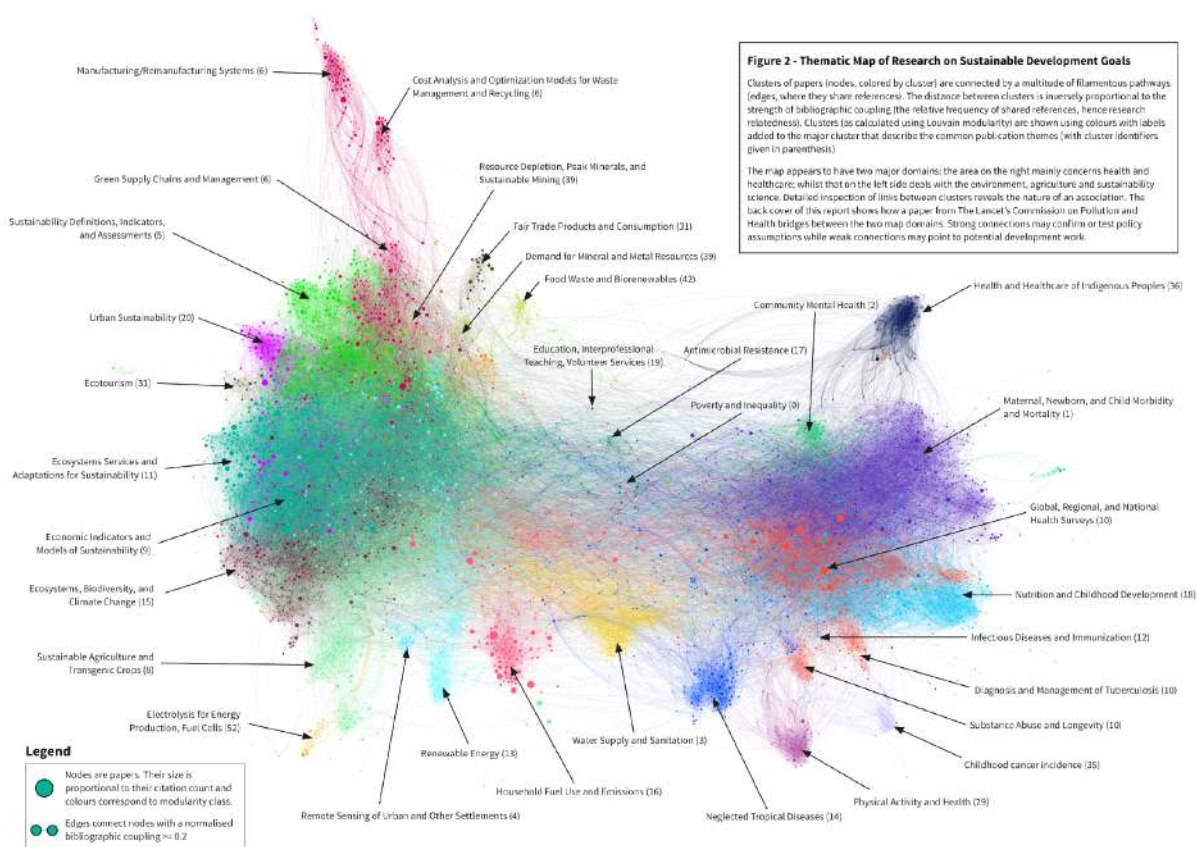
1.1.3. La pensée triptyque du développement durable entre remembrement et démembrement

Le développement durable est fondé sur une vision tripartite englobant la sphère environnementale, économique et sociétale, produisant une seule unité composée de trois piliers rigides qui se renforcent mutuellement (Fig.11). Mais ça n'a pas été toujours le cas. À savoir, durant la conférence de Rio¹⁶ en 1992, le développement durable suivait une vision bipolaire entre environnement et développement. Au sein de la représentation de Rio, le développement se scinde en deux pôles (i) pôle économique et (ii) pôle social. Ce n'est qu'à la fin des années 1990, que le terme implique une vision fondée sur la trilogie équilibrée (i) économie, (ii) société et (iii) environnement émergent en tant que trois piliers interdépendants qui se renforcent mutuellement (Fig. 12).

¹⁶ Les principes de la déclaration de Rio sont associés à un programme de développement pour le XXI^e siècle, appelé Agenda 21 ou Action 21, recommandant une approche intégrée et créative pour assurer le développement durable. Depuis, de nombreuses collectivités territoriales européennes ont préparé un Agenda 21 local. En Allemagne, plusieurs projets ont été initiés dans le cadre des opérations décentralisées de l'Exposition universelle 2000 de Hanovre, dont le thème directeur était *Homme-Nature-Technologie*. En France, les initiatives sont orchestrées par le comité 21, association des entreprises et des industriels (Gauzin-Müller 2001, 14).

Dans ce contexte, Jean-Pierre Paulet rappelle que le développement durable est, à la fois, une dimension écologique et un objectif social destiné à concilier le bien-être et la préservation de l'environnement (Wackermann 2008:277). Car si l'on admet qu'il y a de l'économie et du social, sans écologique, il n'aura pas de régénération des ressources dans le long terme et la qualité des territoires. L'écologique et le social, sans l'économie, ne peuvent pas à eux seuls assurer la valorisation des ressources territoriales. L'économique et l'écologique, sans le social, ne peuvent assurer le lien social et l'adhésion des populations sans lesquelles il ne peut y avoir de véritable projet de développement (durable) des régions urbaines et rurales (Da Cunha 2003).

Figure 12 : Cartographie de l'impact des objectifs de développement durable des Nations Unies sur la recherche mondiale.



Source : M. Nakamura, D. Pendlebury, J. Schnell, M. Szmoszor, *Navigating the structure of research on sustainable development goals*, 2019.

1.1.4. Disséquer la sphère environnementale : Une destruction totale des équilibres écologiques

Le mot environnement est dérivé du préfixe grec *en*, dans, et du latin *virar*, virer, tourner, venant du grec *gyros* qui signifie *cercle* ou bien *tour*. L'environnement signifie l'ensemble des éléments qui constituent le voisinage d'un être vivant ou d'un groupe d'origine humaine, végétale et animale et qui est susceptible d'interagir avec lui directement ou indirectement.

Depuis les années 1970, le terme est utilisé pour désigner le contexte écologique global, c'est-à-dire l'ensemble des éléments biotiques et abiotiques (physiques, chimiques, biologiques, climatiques, géographiques) et culturels au sein desquels se développent les organismes vivants. Les mouvements écologistes, pacifistes et parfois même environnementalistes ont permis de faire prendre conscience à de plus en plus de personnes que l'exploitation massive des ressources biologiques faisait courir à l'espèce humaine un danger à long terme (dont les modifications climatiques). Ensuite, les hommes politiques s'engagent progressivement pour protéger le capital naturel, et ce, par le biais de ce que nous appelons *la politique verte*.

Grâce à son caractère transversal, l'environnement n'a pas une définition stable et figée. Il est approché d'une manière très diverse en fonction de la coloration de profil de chaque acteur qu'ils utilisent ; par exemple, les géologues appréhendent l'environnement par l'étude des sols, les écologues le font par la dynamique des êtres vivants, les géographes par l'occupation du territoire, la gestion du territoire, l'ingénieur et les techniciens en fonction de leurs domaines d'expertise : eau, air, sol, énergie, les économistes par la gestion des ressources naturelles, les juristes sous l'angle des contraintes réglementaires, les philosophes par la morale et l'éthique. Signalons qu'il y a une confusion largement empruntée entre *environnement* et *nature*. La Nature désigne l'ensemble des éléments naturels, biotiques et abiotiques, considérés seuls. Alors que l'environnement reflète cet ensemble par le biais de l'activité anthropique, et aux interactions entre l'homme et la nature. Il ne faut pas aussi confondre entre *environnement* et *écologie*, qui est la science ayant pour objet d'étudier les relations des êtres vivants avec leur environnement, et avec d'autres êtres vivants, c'est-à-dire, l'étude des écosystèmes.

In fine, on s'accorde à dire que la notion de développement durable est une notion transdisciplinaire et hyper complexe. En effet, il n'existe pas un seul outil ou une matrice qui soit apte à décrypter cette notion d'une manière autonome et isolée, et à répondre à la complexité totale de la soutenabilité. Cependant, il est possible d'évaluer, par l'intermédiaire de l'approche quantitative et/ou qualitative, l'un des piliers de durabilité (environnemental, social et économique), cela exige une approche systémique capable d'analyser les multiples pressions exercées par l'homme sur l'environnement, tout en étant accompagné par l'évaluation des seuils limites de croissance (Baabou et al. 2017a). Parmi ces outils, nous trouvons l'empreinte écologique empruntée pour évaluer, d'une manière approximative, les pressions humaines exercées sur les écosystèmes à travers plusieurs échelles (Borucke et al. 2013; Wackernagel and Rees 1998a). Ou bien le « *sac-à-dos écologique* » développé par M. Schmid-Bleek en 1994 à l'Institut de Wuppertal (Allemagne) qui opte pour l'évaluation de la consommation environnementale totale d'un produit (personne, voiture, table, téléphone, etc...).

1.1.1. Déséquilibre du monde moderne : Des rapports complètement bouleversés

Aujourd'hui, la pollution s'aggrave dans des proportions si dramatiques, à la fois par son intensification et par son extension géographique (pollution transfrontalière). Ce qu'il y a de grave, c'est l'infection de l'ensemble de la Terre à partir des sources de pollution bien localisées. Il y a maintenant une dissémination de la pollution dans des conditions telles que l'ensemble de l'humanité est solidaire et victime de la position de chacun de ses membres. Le changement climatique à l'heure actuelle est considéré comme étant un des facteurs du déséquilibre du monde moderne¹⁷.

L'homme et l'environnement, des rapports complètement bouleversés

Auparavant, peu d'hommes étaient touchés, et de manière peu grave, par rapport à l'ensemble des menaces environnementales que subissait l'homme aux XVI^e et XVII^e siècles. À titre d'exemple, à cette époque-là, il n'y avait pas de marée noire, de l'acidification des océans, les pluies acides, et bien d'autres problèmes contemporains.

Les phénomènes extrêmes environnementaux actuels sont d'une intensité qui était insoupçonnée à l'époque où l'ensemble de la pensée occidentale s'est formée, aux XVIII^e et XIX^e siècles. La pensée libérale, formée à partir d'hommes comme Montesquieu ou Adam Smith, aussi bien que la pensée socialiste constituée à partir d'hommes comme Prud'hon ou Marx, ont tout les deux ignoré les problèmes de l'environnement parce qu'ils ne se posaient pas avec acuité à l'époque.

Aujourd'hui, nous sommes exceptionnellement à un tournant dans l'histoire de l'homme sur la Terre. Jusqu'ici, nous avons vécu dans l'idée que la nature est un bien inépuisable, gratuit et éternel. On s'aperçoit que la nature n'est pas *un bien inépuisable, mais bien rare, non plus gratuit, mais de plus en plus coûteux à protéger, et non plus éternel, mais aussi temporaire*, déclara-t-il Philippe Saint Marc¹⁸.

Cependant, la philosophie libérale comme la philosophie marxiste s'oriente vers l'élévation du niveau de vie sans se soucier pour autant des problèmes environnementaux. À titre d'exemple, la dégradation des sites de montagne ou des bords de mer ou de la campagne, la pollution esthétique n'existait pas au XIX^e siècle, car il n'y avait pas de tourisme. En outre, les problèmes d'aujourd'hui sont modernes par leur gravité, par exemple, le changement climatique avec sa panoplie d'impacts. Les sociétés humaines du XIX^e siècle ont pensé en

¹⁷ Auparavant, les zones polluées étaient très restreintes par rapport à l'ensemble de la Terre. Maintenant, elles tendent à recouvrir la Terre entière puisque, aussi bien, on retrouve déjà du D.D.T dans les neiges de l'Alaska. De même en ce qui concerne l'empoisonnement des océans. Dans ce contexte, l'homme est en train d'empoisonner toute la Terre sans qu'il y ait aucun refuge possible pour une réserve de vie et de santé. La dégradation du milieu ambiant est devenue un phénomène essentiel de notre civilisation.

¹⁸ Philippe Saint Marc est un docteur en droit (diplômé de l'Institut d'étude politique de Paris, écrivain de l'ouvrage *socialisation de la nature*. Il est l'un des fondateurs de la *charte de la nature*).

termes de rapports humains plutôt qu'en termes de rapports entre l'homme et la nature. Les changements climatiques, la perte de biodiversité, l'intrusion marine, la salinisation des océans, ce sont ces événements, relativement petits, qui émergent comme la pointe d'iceberg, mais leurs effets sont non seulement profonds, mais également très larges. Ce qui a inquiété l'opinion publique en France et en Grande-Bretagne, à titre d'exemple, durant quelques années a été la *marée noire* aujourd'hui une grande mobilisation est animée pour interdire les glyphosates, les défilants, les herbicides et les pesticides (DDT) et le plastique. Ce sont ces sujets chroniques qui doivent faire l'objet ultime pour frapper l'opinion publique et réduire considérablement notre empreinte néfaste. Philippe Testard-Vaillant distingue cinq défis pour accommoder les externalités négatives pour la biodiversité :

Il est impératif de (i) connaître, d'une manière approfondie, le tissu vivant de la Terre ; or, 70 à 95 % du vivant n'est pas encore répertorié, (ii) connaître le patrimoine naturel, mais la réalité nous montre que plus de 3 600 espèces de plantes sont vraisemblablement menacées d'extinction, et (iii) contrôler l'activité anthropique, mais 35 % des espèces vivantes peuvent être ou devenir victimes du réchauffement climatique, (iv) la préservation des ressources renouvelables, sachant que, dans le seul domaine forestier, 3 à 4 milliards de mètres cubes de bois sont exploités chaque année, (v) nous devons opter pour la restauration de la biodiversité par le biais d'une stratégie locale et la réintroduction cautionnée par une neutralité bienveillante des populations locales : déjà 210 espèces de vertébrés ont fait l'objet d'une tentative de réintroduction (Wackermann 2007:251).

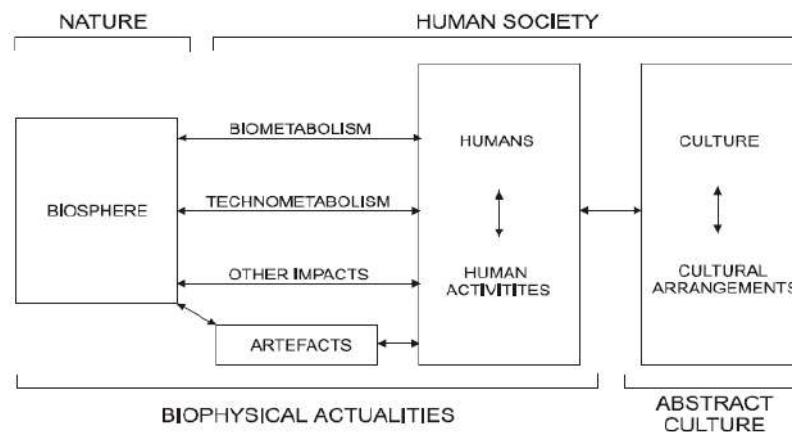
Les relations entretenues entre l'Homme et la Nature sont, manifestement, multiples, complexes et diverses de par leurs natures et leurs durées. Hélas, à cause des dilemmes et la complexité entre les sciences de la Nature et les sciences sociales, ces interactions n'ont jamais été bien éclaircies. Cette nouvelle réflexion a poussé plusieurs problèmes interdisciplinaires. Quoi qu'il en soit, il existe quatre modèles pluridisciplinaires optant pour rendre ses relations un peu tangibles.

- *Le premier modèle* : les relations entre Nature-Société comme des forces motrices pour changer la société, ce modèle est développé par Maurice Godelier en 1987, dans lequel il insiste sur la notion de la pensée qui fait référence à la réalité qui génère est une facultative qui conserve que les individus ayant une conscience. L'auteur de ce modèle donne une attention aussi particulière à la culture et son caractère auto-organisateur. Dans son ouvrage "*The Mental and the Material*" (Godelier 2011), Godelier avance que l'appropriation de la Nature, en effet, modifie la nature elle-même, et cette Nature modifiée représente une force motrice pour changer la société, s'agissant d'un impact mutuel suivant un cercle vicieux. L'auteur de ce modèle envisage trois types de relations : (i) il y a une partie de la Nature qui reste à son état naturel, sans être touchée par l'homme (soit directement ou indirectement)

-cette réflexion nécessite d'être rétrocédée !- ; (ii) il y a une partie de la Nature qui a été transformée par l'intervention humaine, indirectement, avec une intention des conséquences de leurs effets et (iii) il y a une partie de la Nature qui a été transformée directement par l'activité humaine et elle ne pourrait pas se régénérer sans son intervention (dans le quatrième modèle, ce type de relation est appelé Nature colonisée).

- *Le deuxième modèle* : le modèle de l'écologie humaine, ce modèle est inauguré par Stephen Boyden (écologiste humain) dans son ouvrage "*Biohistory : The interplay between human society and biosphere*" (Boyden 1992). L'auteur envisagea deux types de relations, d'une part, entre la société et la biosphère, et d'autre part, la société et l'homme (en tant qu'un individu). Il avança que, généralement, nous concevons la Nature et la Société en tant qu'« *anthroposphère* » comme étant des parties indépendantes. Selon Boyden, la société humaine englobe à la fois la culture abstraite, la population, les activités anthropiques et les artefacts (Fig.13). L'auteur avait examiné quatre types de relations entretenues entre l'homme et la nature, et cela se fait par le biais de : (i) bio-métabolisme¹⁹ ;(ii) techno-métabolisme²⁰ ; (iii) autres impacts et (iv) impacts indirects via les artefacts.

Figure 13 : Relation entre la Nature et la Société.



Source : Boyden, 1992, p.98.

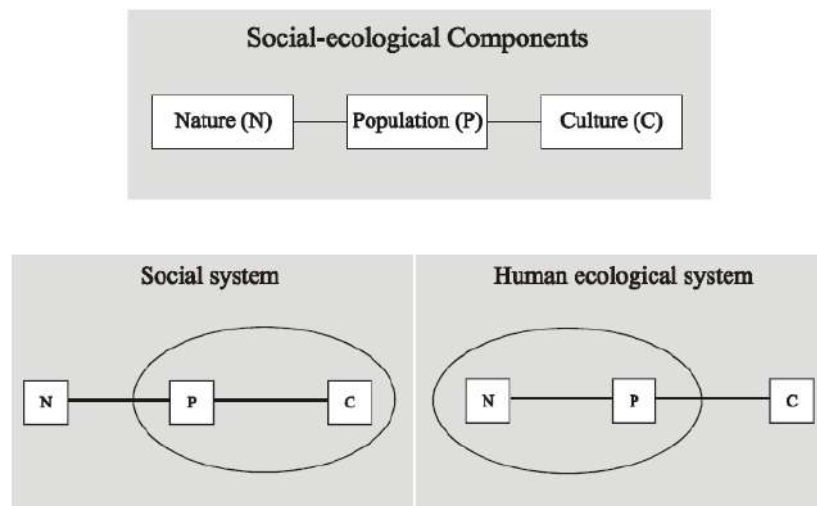
- *Troisième modèle* : systèmes complexes et évolution culturelle, ce modèle est établi par Rolf Peter Sieferle en 1997 (Sieferle 1997), en s'intéressant à l'évolution culturelle des relations entre la Nature-Société, son modèle se compose de trois éléments (i) Nature, est caractérisée comme étant auto-organisatrice (*autopeoietic*), (ii) Population

¹⁹ Le bio-métabolisme reflète le flux des matériaux Inputs et Outputs et le taux avec lequel l'énergie se transforme par le système humain (en tant qu'un organisme).

²⁰Le techno-métabolisme est défini comme étant l'impact des flux d'inputs et Outputs des matériaux et d'énergie à travers le système social qui sont relatifs aux processus technologiques.

humaine, l'interface entre la culture et la Nature et (iii) Culturel (Fig.14). D'où les composantes se donnent sens mutuellement, car la culture ne peut pas expérimenter ni influencer la Nature sans population. Néanmoins, il ne faut pas instrumentaliser cette relation.

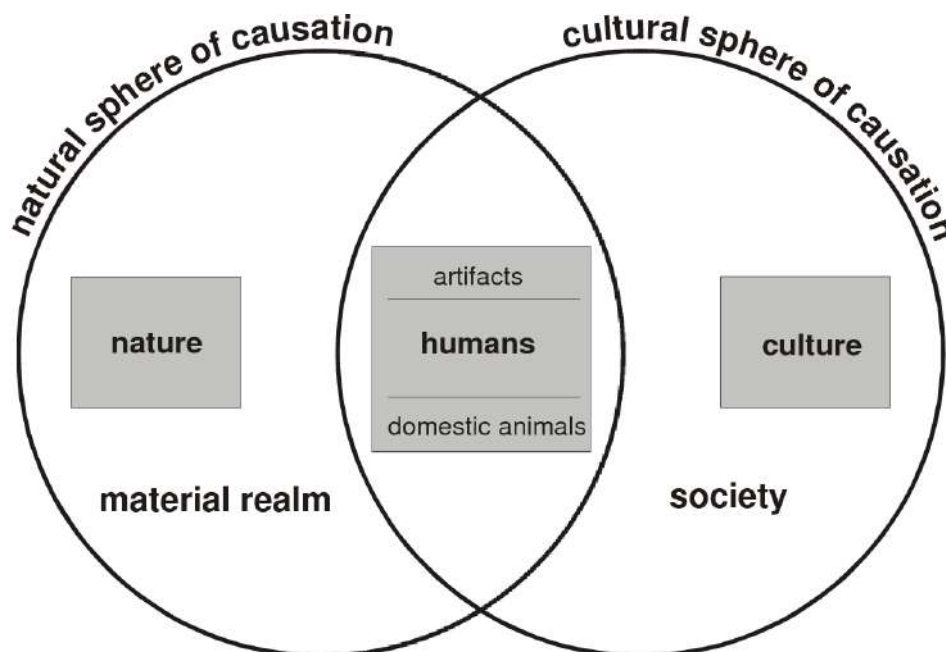
Figure 14 : Interaction Homme – Nature.



Source : Sieferle, 1998.

- *Quatrième modèle : la société comme une entité hybride entre matériel et immatériel (symbolique),* ce modèle est élaboré par Marina Fischer-Kowalski et Helga Weisz (Fischer-Kowalski and Weisz 1999). Dans leur modèle, ils commencent tout d'abord par reconnaître que la société, l'économie et le système naturel sont des éléments hyper complexes avec plusieurs dépendances (Fig.15), et que l'homme est décrit comme un simple acteur d'une complexité réduite (*'human' causing disturbances*). Leur modèle se base sur deux processus primordiaux : (i) *métabolisme socio-économique*, reflétant les flux de matières et d'énergies entre la société et la Nature ; (ii) *processus de colonisation naturelle*, reflète la transformation durable des processus naturels en utilisant des formes d'intervention diverses.

Figure 15 : L'interaction entre les sphères de causalité culturelle et naturelle.



Source : Fischer-Kowalski et Helga Weisz, 1999.

1.1.2. L'homme en tant qu'élément de la biosphère

L'environnement, ou milieu humain, conçu comme *biosphère*, est un système englobant tous les êtres vivants, aussi bien que l'air, le sol, l'eau qui constituent leur habitat, c'est-à-dire le lieu où se déroule de façon naturelle le cycle vital. Toutefois, il est communément admis que ce terme est issu par le grand naturaliste français J-B Lamarck (1744-1829), mais ce fut le géologue russe V. I. Vernadski (1863-1945) qui introduisait le terme de *biosphère*, ou sphère de vie, pour désigner la zone de la planète, de quelques kilomètres d'épaisseur, où se déroule le phénomène de la vie.

Le fonctionnement de la biosphère pourrait être résumé de la manière suivante : à l'extérieur, une source d'énergie, représentée par la radiation solaire ; à l'intérieur, la *biomasse*, où se développent les phénomènes du métabolisme, au terme desquels des organismes naissent, meurent, se nourrissent les uns des autres, formant ainsi des chaînes alimentaires tout au long d'un cycle biologique gigantesque permanent, à l'issue duquel des matières et des formes d'énergie passent d'un état biologique à un autre. Ces transformations commencent en réalité avec le cycle de l'énergie solaire qui constitue l'épine dorsale de la vie sur Terre. Car c'est grâce aux radiations solaires que les plantes peuvent accomplir le processus de *photosynthèse*, transformant la matière inerte en matière organique et libérant de l'oxygène (*cycle de l'oxygène*), non seulement celui-ci procède la vie (presque tout l'oxygène qui existe dans l'atmosphère est d'origine biologique), mais en même temps il maintient la vie.

Les végétaux et les détritiques composent l'essentiel de la nourriture des animaux herbivores. Ceux-ci, à leur tour, sont la proie des carnivores, et cette dépendance constitue de la sorte la

multitude des chaînes alimentaires interconnectées. Enfin, les restes des animaux et les matières organiques en décomposition sont transformés par les bactéries pour régénérer les éléments et les substances minérales qui retourneront au règne végétal. Ainsi sera rendue possible la poursuite du processus de la photosynthèse et du cycle biologique global.

Ce système de rapports, au sein duquel s'accomplit le gigantesque *recyclage* de tous les produits de la biosphère, possède sans doute une grande unité et maintient sur la Terre *l'équilibre écologique*. Ce système étant *autorégulateur*, la biosphère tend à la stabilité, c'est-à-dire à conserver ses propriétés essentielles pour pouvoir s'adapter et s'ajuster aux changements ou aux altérations possibles de l'environnement.

C'est sous cet angle analytique que nous pouvons considérer le problème de la pollution, qui sous-entend que le recyclage de la production humaine d'énergie et de matériaux n'est pas résolu de manière adéquate en tant que processus de la biosphère. La pollution serait tout simplement exclue si les lois ou les normes qui régissent l'équilibre des écosystèmes et de la biosphère étaient observées.

Il est important de souligner que l'action de l'homme sur la biosphère et son influence sur les équilibres écologiques date de son apparition sur Terre. La présence humaine implique une régression des systèmes naturels par rapport à leur état hypothétique dans le cas où l'homme n'aurait pas existé.

Nous nous intéressons particulièrement aux mutations qui ont touchées l'homme depuis son apparition sur Terre jusqu'à aujourd'hui. Cette réflexion ne vise pas à déterminer l'origine de l'homme, mais plutôt de déceler et à suivre les relations entretenues entre l'homme et la nature, et l'élargissement de l'empreinte de l'homme sur la nature.

La théorie de l'évolution, avancée par Darwin (Darwin 1859; Ridley 1999), relie toute une série de faits certains et se présente comme si tous les êtres vivants étaient issus d'une immense chaîne de transformations dans un sens de complication croissante. Après avoir suscité des controverses et des luttes vives, elle ne peut plus être, dans son ensemble, contestée. Les structures anatomiques humaines et ses composantes physiologiques sont la suite de structures animales analogues.

L'arrivée de l'homme dans la biosphère fut marquée par des phénomènes nouveaux et nombreux dont le plus récent, le plus déterminant, le plus chargé de différence est, à mon sens, la maîtrise du feu et les découvertes des combustibles.

Probablement, la chronologie la plus démonstrative est celle établie par Yves Coppens²¹, qui représenta la première exposition organisée de Paléontologie humaine et de Préhistoire de

²¹ Commissaire général d'une exposition sur l'origine de l'homme au musée national d'histoire naturelle de Paris (musée de l'homme) en 1976.

cette importance. Yves Coppens avait structuré son ouvrage et son exposition autour de cinq points (chapitres) :

- Le premier point : il acquiert 32 dents ;
- Le deuxième point : il se redresse ;
- Le troisième point : il taille l'outil ;
- Le quatrième point : il maîtrise le feu ; et
- Cinquième point : il enterre ses morts.

Toutefois, il serait lucide de mettre en relief les facteurs qui ont dû exiger cette hiérarchisation. Cette stratification a été exigée par la Paléontologie, car ce n'est qu'en 1853 que le terme de la Paléontologie²² humaine fut créé par Serres (Blanckaert 2015). Cette date se situe trois ans avant la célèbre découverte dans une petite grotte de la vallée de Neandertal près de Düsseldorf (Allemagne occidentale) d'un squelette humain fossilisé, qui devait par la suite s'imposer comme le symbole, voire la caricature initiale de l'Homme préhistorique.

En dépit de la forte influence de cette dernière approche de classification temporelle évolutive, il nous a fallait trouver un autre moyen de représentation des impacts anthropiques, en effet, par la nature même de notre recherche et pour pouvoir répondre à l'objectif qui fut arrêté et qui ne se limite pas uniquement à la recherche, à la découverte et à l'étude morphologique et descriptive des restes de nos lointains ancêtres ou prédécesseurs, mais également d'évaluer leurs impacts à chaque épaisseur temporelle. Dans cette partie, nous n'optons pas pour l'éclaircissement des valeurs fondamentales des hypothèses relatives à l'évolution humaine, mais plutôt pour l'évaluation de l'impact de l'homme sur la nature, ce que nous a obligés à considérer une autre répartition qui sera mieux illustrative de la complexité des impacts anthropiques sur la nature.

La deuxième méthode que nous prônons est celle des époques historiques, une méthode largement répandue par les historiens français.

- La préhistoire ;
- La protohistoire ;
- L'antiquité ;
- Le moyen âge ;
- L'époque moderne ; et

²² La Paléontologie humaine est par définition la science d'Hommes fossiles dont elle s'applique à retracer la lente évolution à la faible clarté de leurs restes muets. La science paléontologique, par ses méthodes, est par son objet une science de l'Homme. Elle constitue avec l'anthropologie, l'Éthologie et la Préhistoire, la quatrième dimension de l'histoire naturelle de l'Homme et les supports biologiques et anatomiques de sa genèse (Yves 1975).

- L'époque contemporaine.

Étant donné qu'il existe deux approches (susmentionnées) pour suivre l'impact de l'homme sur la nature **(i)** selon la stratification faite par Yves relatif à la constitution de l'homme lui-même (idée largement répandue par les écologistes et leurs prédécesseurs naturalistes) **(ii)** selon les époques historiques, signalons que deux autres périodes historiques vont être rajoutées pour une raison d'élargissement du champ de la discipline historique à savoir la préhistoire²³ et la protohistoire²⁴. Or, la première approche ne met pas en avant l'impact de l'homme sur l'environnement et la complexité et l'ampleur d'alerte du risque qu'il entraîne, car elle se focalise plutôt sur la métamorphose de la constitution morphologique de l'être humain plutôt que son apport à l'environnement et vice-versa. La deuxième, quant à elle, ignore la dimension de développement de l'homme au profit des épaisseurs historiques qui caractérisent les débuts de l'influence de l'homme sur la nature. Il paraît alors qu'aucune de ces classifications ne pourraient bien illustrer l'impact de l'homme sur la nature, dès lors, une triangulation entre les deux approches pourrait mieux exemplifier la complexité de l'impact de l'homme sur la biosphère.

Nous avons fait appel à cette méthode hybride optant pour la mise en relief l'action humaine dans l'environnement, cette hiérarchie est composée des points suivants :

- L'homme primitif (chasseur-pêcheur) ;
- L'homme maîtrisa le feu (incendie homo erectus) ;
- L'homme sédimentaire (agriculteur-sédimentaire) ;
- L'aube de la première production ;
- La faste gourmandise pour la croissance ;
- Révolution industrielle ;
- L'homo sapiens et le plan inconscient du génocide.

Dans l'analyse historique de l'interaction entre l'homme et le reste de la biosphère, il y a lieu de distinguer les sept étapes, un peu arbitraires, qui sont évidemment destinées, telles que des poteaux indicateurs de kilométrage, à jalonner le cheminement d'un certain nombre de grands événements repères, choisis eux aussi un peu arbitrairement. Ils aident à suivre la transformation de l'homme au fil des siècles ainsi que son impact sur l'environnement. On peut de la même façon suivre l'évolution de l'approvisionnement de l'outil utilisé hypothétique jusqu'aux industries très élaborées :

- **L'homme primitif**

Durant plusieurs milliers d'années, l'homme n'a exercé qu'une influence réduite sur l'environnement. À l'instar des animaux dont il était le rival, l'homme agissait comme un

²³ De l'apparition de l'homme jusqu'à l'émergence des premières civilisations.

²⁴ C'est la période pendant laquelle une civilisation ne possède pas encore d'écriture, mais apparaît déjà dans les écrits d'autres civilisations, telles que les Amérindiens et certaines civilisations précoloniales d'Afrique.

prédateur dans la communauté naturelle dont il faisait partie. Aussi, devait-il subir les conséquences découlant des transformations écologiques, qui l'obligeaient alors à s'adapter ou à chercher ailleurs les éléments indispensables à sa survie.

L'homme primitif était obligé de se nourrir de produits tendres et juteux comme les fruits, les racines, les tubercules, les insectes et les larves. Contrairement aux singes qui ne mangent que très exceptionnellement des reptiles ou des oiseaux, la viande figurait aussi dans son régime alimentaire.

À cette étape, l'action de l'homme sur la biosphère était de faible importance, presque minime ou inexistante.

- **L'homme primitif maîtrisa le feu**

L'action de l'homme se limitait peut-être à influencer sur quelques écosystèmes par l'intermédiaire du feu. Du reste, cette pratique des incendies des forêts et de savanes est encore utilisée aujourd'hui pour la chasse par de nombreuses sociétés primitives qui mettent ainsi les animaux en fuite pour faciliter leur capture.

À l'heure actuelle, certaines tribus peu évoluées conservent un mode de vie correspondant à ces temps reculés. Les aborigènes australiens, par exemple, subsistent grâce à la chasse, à la pêche, à la cueillette des fruits et des racines. Ils ne pratiquent aucune forme d'agriculture ou d'élevage, et vivent, par conséquent, d'une façon totalement dépendante de la nature, sans la *polluer*.

À cette étape, l'action de l'homme sur la biosphère était peu significative.

- **L'homme sédimentaire**

Le passage de la communauté primitive aux premiers peuples d'agriculteurs et de bergers, provoqué par l'apparition de la division du travail et du premier fractionnement de la société en classes, eut pour conséquence une altération assez importante du milieu naturel.

À ce stade, le feu a joué un rôle primordial, ce fut le moyen le plus puissant pour transformer les habitats. *Couper et brûler*, telle apparaît la technique fondamentale de culture qui permet à l'homme de se libérer de sa dépendance millénaire vis-à-vis de la chasse et de la cueillette des fruits et des racines. L'homme apparaît ainsi à imiter et reproduire les effets de la nature. Les cendres résultant de la combustion des forêts amélioraient la qualité de la terre, puis les arbres, en repoussant, permettaient de nouvelles semblables opérations en vue de maintenir la fécondité du sol. Toutefois, cette pratique abusive de l'anéantissement de la végétation entraîna de profonds changements climatiques dans de nombreuses régions du globe. De larges espaces furent transformés en savanes, en terre aride et pauvre, et même en déserts.

C'est à cette période-là que l'homme commença véritablement à exercer une empreinte sur la biosphère.

- **Aube de la première production**

Le passage aux premières productions économiques plus développées (de l'antiquité vers le moyen âge 3500-3000 av. J.-C.) impliquait que l'homme pût disposer de moyens techniques mieux adaptés, Cela coïncidait entre autres avec une augmentation de la densité de la population. Dans cette période, nous avons constaté que l'équilibre entre l'homme et la nature a commencé à être compromis. Tout au long du Moyen-Âge, la destruction inconsidérée des forêts permettant de faciliter l'agriculture ou l'élevage, la transhumance en particulier, se poursuivit. Dans le même temps, le bois devenait un matériau toujours plus employé.

Cette période est largement influencée par la conception divine du Cosmos s'imposant comme ordre absolu, dans un mode de Dieux et des Héros, cette croyance populaire influença sur la conscience des hommes, notamment avec les principes éthiques et moraux pour la protection des animaux.

À cette étape, l'homme commença déjà à altérer plusieurs cycles biologiques et l'extinction de plusieurs espèces animales.

- **Avidité pour la croissance**

Au début de l'ère des grandes découvertes géographiques, de larges zones de la planète demeuraient encore pratiquement intactes, mais cette situation ne devait pas durer.

Avec l'intensification de l'agriculture, l'homme modifia l'équilibre écologique de nombreuses zones. Nombre de populations d'animaux qui, à l'état naturel, sont stabilisées par la présence de concurrents ou de prédateurs sont susceptibles, dans un milieu modifié, de réduire dans des proportions considérables. Ce processus est à l'origine de la majorité des fléaux connus.

Pour trouver un nouvel équilibre écologique et lutter contre les animaux et les plantes nuisibles, l'on s'est mis à recourir, depuis quelques années, à certains produits chimiques dont le nombre et l'efficacité n'ont cessé d'augmenter. Les produits utilisés dans l'agriculture y compris le dichloro-diphényl-trichloréthane ou D. D.T, synthétisé et commercialisé pendant la Seconde Guerre mondiale pour combattre les typhus exanthématiques et pour extirper le paludisme.

Il faut reconnaître que les insecticides ont eu, dans de nombreux cas, des effets très bénéfiques pour l'humanité. L'utilisation excessive de pesticides a des conséquences très négatives. Dès lors, nous nous trouvons confrontés au grave problème de la toxicité d'une quantité de pesticides utilisée en agriculture qui, lorsqu'ils sont drainés par les eaux, provoquent la mort des poissons et des oiseaux, détruisent leur nourriture et polluent l'alimentation de l'homme. L'une des catastrophes écologiques les plus lourdes est provoquée par l'utilisation incontrôlée

des pesticides. Sans oublier pour autant leur potentiel cancérigène ou multigénique chez la population humaine.

En 1969, des scientifiques du centre de l'alimentation et des médicaments du Canada découvrirent que les additifs étaient dommageables pour le foie, le cœur, les reins et la rate des cobayes, à cause de l'aliment pollué par le cyclamate de sodium.

En moins de deux-cents ans, les nations colonisatrices européennes, munies de puissants moyens de destruction, pratiquaient en de nombreux endroits une véritable politique de la *terre brûlée*, sans prévoir le moins du monde les conséquences écologiques et sociales de leurs actes. Seuls les intéressaient les résultats immédiats, les plus tangibles. Pour le colonisateur européen, la nature sauvage était tout simplement, dans la plupart des cas, un ennemi de plus à vaincre, et on supposait que les ressources naturelles, en raison de leur abondance, étaient inépuisables.

- **Révolution industrielle**

À la fin du XVIII^e siècle, les nouvelles conditions économiques et sociales de la production ont favorisé non seulement de nombreuses découvertes scientifiques, mais également leurs applications.

Jusqu'en 1800, l'*énergie* disponible avait pour seule origine la radiation solaire et elle se limitait à une forme élémentaire : la force physique animale et humaine fournit par le métabolisme des aliments, c'est-à-dire l'oxydation biologique des composés qui emmagasinent l'énergie solaire. De même, la production humaine de substances physico-chimiques, en tant que processus de la biosphère, était relativement limitée, l'homme n'en faisant qu'un usage modéré. De plus, ces matières étaient, en général, biodégradables.

Néanmoins, au niveau de la révolution industrielle, le processus de production via l'introduction des machines, outils actionnés par de *nouvelles sources d'énergie* produites par des combustibles solides dont la consommation, va sans cesse en augmentation. La combustion de ces produits commença progressivement à exercer ses effets sur la biosphère. En outre, avec l'accroissement de la production humaine de matériaux, les conséquences du non-recyclage de nombreuses substances allaient apparaître chaque jour de manière plus évidente dans la nature.

À tout cela, s'ajoutent les effets pervers du *phénomène urbain* survenant à ce stade de la croissance industrielle. Jusqu'alors, le développement de l'urbanisation s'était réalisé sur fond de population excédentaire par rapport aux possibilités qu'offrait le travail agricole. Ces migrations n'avaient pas eu de grandes répercussions sur l'environnement, mais avec la révolution industrielle, le phénomène de déplacement en masse de ruraux vers les villes commence à se généraliser un peu partout dans le monde, ainsi que la migration clandestine. Ces processus, nécessaires à l'enrôlement de la force de travail requise par l'industrialisation,

amène, comme corollaire, une concentration de main-d'œuvre, créant un marché et constituant le milieu industriel et urbain aujourd'hui caractéristique des grandes villes modernes.

Nous avons vécu, depuis l'explosion industrielle et urbaine du début du XIX^e siècle, en Europe occidentale, dans une société d'extrême gaspillage :

- o Gaspillage d'espace par une urbanisation désordonnée ;
- o Gaspillage de matières premières par une industrialisation également désordonnée ; et
- o Gaspillage de nature par une indifférence totale à l'évolution du milieu naturel.

Nous arrivons au point où les ressources rares que nous avons gaspillées sont devenues très limitées. Nous entrons dans une ère de l'aménagement de l'environnement.

Cette étape se caractérise par l'élargissement de l'empreinte écologique de l'humanité, avec l'essor et la généralisation d'un système économique défaillant.

- **L'homme contemporain (XXI^e siècle-infligeant la capacité autorégulatrice de la biosphère)**

Le développement humain s'accompagne par une urbanisation galopante, souvent anarchique et génératrice d'échecs. Les risques pour l'environnement s'en trouvent accrus. Dans le monde entier, la proportion d'habitants des villes croît constamment et toutes sortes de problèmes sont devenus omniprésents.

Il est clair que le progrès scientifique et technologique a occasionné des répercussions très négatives sur la biosphère, sachant que les besoins de la population s'accroît d'une manière exponentielle, en accompagnant cette mutation socio-économique, et parfois même technologique, plusieurs crises mondiales sont apparues comme omniprésentes et elles s'exacerbent au fil des ans. L'identification du modèle de production et de consommation a généré d'autres effets tels que l'accroissement des émissions de gaz à effets de serre, la prolifération des déchets et les eaux usées.

Les déchets solides, quant à eux, pourront altérer la survie des organismes marins, à savoir que presque six millions de tonnes de matière plastique sont jetées tous les ans dans les océans. Le plastique inventé par l'homme joue un rôle très important dans notre société qualifiée de consommatrice, mais, pour la nature, il représente une véritable menace. Une grande partie de ces déchets flottent, de canalisation en canalisation finissant par rejoindre les fleuves et puis les mers. La matière plastique n'est pas biodégradable, le papier prend quelque semaine pour se dégrader, quant au bois, boîte de conserve, etc., il faut compter plusieurs

décennies voire des siècles, mais la mer finit toujours par les dissoudre, la matière plastique²⁵, elle demeure, ne se décompose pas, elle se fragmente en milliards de micros particules que les courants vont transmettre dans les quatre points du globe, avec des conséquences si dramatiques sur la survie des espèces marines.

Il faut signaler que les militants écologistes, malgré leurs combats en faveur de l'environnement, s'intéressent qu'aux problèmes palpables, autrement dit, si nous analysons les menaces et les pressions exercées sur la sphère environnementale, on se rend compte que les émissions de gaz à effet de serre jouent un rôle crucial dans l'avenir de la planète et, par voie de conséquence, la survie des espèces les plus vénérables, mais récemment nous avons assisté un intérêt médiatique sur ce sujet. Dans le contexte architectural et urbanistique, il s'avère que nous avons trouvé la clé magique qui permettrait de résoudre pas mal de problèmes tantôt relatifs aux modalités de la prise de décision tantôt à la capacité de gérer la ville via la technologie, et nous avons donc produit ce que nous appelons *smart city*, un terme associé aux *big data*, *serveurs*, *fibre optique*, tous ces outils sont contrôlés à travers un *ordinateur*.

Néanmoins, le progrès technologique que nous vivons et qui fascine plein de personnes pourrait porter en lui un danger potentiel sur la biosphère. Aujourd'hui, l'humanité avait engendré un nouveau type de pollution, parfois nommée *pollution de web*.

Les technologies de l'information, de communication et du web consomment 10% de l'énergie disponible, soit l'équivalent de 40 centrales nucléaires. Sachant que ce qui raccorde les ordinateurs est bien des câbles, à savoir que tous les pays sont raccordés par câbles en fibre optique enterrés sous les océans. Aujourd'hui, on dénombre plus de 300 câbles pour un total d'un million de kilomètres.

La connexion fictive entre les pseudo personnes via les réseaux sociaux, les données qui sont enregistrées dans les centres de stockage *datacenter*, permettant l'accès rapide et instantanément aux données (informations personnelles, photos, fichiers, mails, messages enregistrés sur les *Clouds*). Or, ces centres se chauffent rapidement, pour 1 watt utilisé pour un serveur, ce dernier aura besoin d'un autre watt pour maintenir sa température à 22°C. Encore plus effrayant, le stockage sur internet est fait en double, pour assurer la protection des fichiers au cas où un serveur serait attaqué (*cyber crime*). Ce qui amplifie la consommation énergétique et, par voie de conséquence, l'alourdissement du bilan carbone. Suivant l'idée *plus on stocke, plus on pollue*, la ville intelligente qui fonctionne via internet pourrait être largement controversée.

À cette étape, les scientifiques admettent que l'homme avait transgressé quatre limites planétaires (Rockström et al. 2009).

²⁵ Sachant que le plastique est l'un des produits dérivés du pétrole.

1.1.3. La lutte pour une biosphère stable

Les problèmes de l'environnement et de la pollution préoccupent aujourd'hui le monde entier. Minimiser l'aspect négatif des atteintes de l'activité humaine sur la biosphère et relever les bienfaits qui pourraient provenir de l'accélération du cycle de divers éléments, tels que le carbone, semblent être les objectifs ultimes auxquels la nouvelle génération devrait faire face.

Les partisans de *l'idéologie de la nature* ignorent la dimension économique et politique des problèmes de l'environnement, ils invitent à un nouvel art de vivre et préconisent une nouvelle morale écologique. Cette pensée amorce plusieurs points délicats, parmi ceux-ci la destruction de l'environnement. Quant à l'autre courant baptisé *optimistes*, ils aspirent, d'une foi aveugle dans l'aptitude du progrès technique et technologique, à résoudre les problèmes environnementaux. Ces deux courants de pensée se trouvent souvent associés dans l'effort actuel de recherche à divers *modèles* permettant de prévoir le destin de l'humanité.

Cependant, les problèmes environnementaux, indépendamment des déviations dogmatiques (idéologie de la nature et scientisme), reflètent une réalité qui touche des milliards d'êtres et qui fait surgir de nouvelles formes de contradictions sociales.

Pour cela, trois initiatives marquantes ont été manifestées en faveur de l'environnement. Commençons par *le mouvement d'action écologique* qui se manifeste pour la première fois aux États-Unis en vue d'apporter des consciences pour préserver l'environnement contre la pollution. Car, à cette époque, les États-Unis ont été fortement caractérisés par une forte industrialisation, en outre, un autre facteur, qui joua un rôle important, est celui de la guerre au Viêt Nam qui s'est caractérisée par l'expérimentation des armes chimiques. Les formes d'action de ce groupe sont aussi diverses que originales. Ce groupe lutte contre l'utilisation des DDT, la prolifération de la matière plastique non dégradable, les additifs alimentaires, les problèmes posés par l'automobile et l'emploi d'herbicides et des défoliants (guerre de Viêt Nam).

La deuxième initiative est cadrée par les naturalistes, nous trouvons le rapport du *Massachusetts Institute of technology : The limits to growth (halte à la croissance)*, mais aussi le numéro spécial de la revue anglaise *The Ecologist, A Blueprint for Survival (la Manifestation pour la survie)*. Le rapport de halte à la croissance par Dennis Meadows a élaboré un *modèle* hypothétique en réunissant toutes les forces complexes et interdépendantes qui affectent l'humanité et le milieu de vie, cinq variables ont été prises en compte par ce rapport : (i) *la population*, en augmentation constante (ii) *la production industrielle*, en rythme qui va en crescendo (iii) *la production agricole*, (iv) *la pollution* et (v) *l'épuisement prévisible des ressources naturelles*. Le résultat du travail implique l'obligation d'abandonner l'idée que le processus de croissance économique peut continuer indéfiniment sans rencontrer d'entraves. La manifestation pour la survie suit la voie ouverte par le rapport du MIT, ce groupe de scientifiques britanniques a publié en janvier 1972 dans la revue *The Ecologist*,

cette publication constituait une étape importante dans la prise de conscience universelle de la nécessité d'un changement, en partageant une stratégie de destruction des processus écologiques et la création d'un nouveau système social.

La troisième initiative représentait le bouche-trou des autres activités en faveur de l'environnement; en effet, la conférence mondiale sur l'environnement qui eut lieu à Stockholm, du 5 au 16 juin 1972, a constitué l'initiative la plus importante prise jusqu'alors dans le domaine de la préservation du milieu naturel et la lutte contre la pollution. Elle réunit 1 200 délégués appartenant à 112 pays et 3 000 observateurs, et elle se résume en deux points majeurs : (i) Ils étaient effrayés par la détérioration de leur environnement, et inquiets par rapport à l'épuisement des ressources naturelles, et ils ont songé à l'idée de limiter la croissance démographique, (ii) Les pays du tiers monde jugent que leur principal problème n'est pas la limitation des naissances, mais plutôt la croissance économique. Ils considèrent la pollution comme un problème des pays riches.

1.1.4. À la recherche d'un climat favorable au développement

« Prendre d'urgence des mesures pour lutter contre les changements climatiques et leurs répercussions » c'est ainsi le but assigné par l'objectif n° 13 du développement durable baptisé lutte contre les changements climatiques. Si à l'origine de cet objectif, nous aspirons donc à lutter contre les changements climatiques, cette action devrait être orchestrée par des mesures de mitigation. Toutefois, il est judicieux de mettre en lumière qu'il n'existe pas un cadre opérationnel standardisé et normalisé pour en faire. L'initiative devrait être alors encadrée par un processus qui s'illustre à l'échelon local, pour pouvoir agir sur l'échelon global. Le seul chemin crédible est celui d'agir dès maintenant, collectivement et différemment, insiste la Banque mondiale.

Le changement climatique n'est pas un phénomène isolé, affirmaient les scientifiques de *Potsdam-Institute für Klimafolgenforschung (PIK)*. En effet, il devrait en effet être replacé dans son contexte et être couplé à la croissance économique, démographique, les modes d'approvisionnement d'énergie et l'avancée technologique.

1.1. Le défi du changement climatique entre mythes et réalités

Aujourd'hui, les modifications climatiques amorcées au XXI^e siècle sont considérées comme étant le plus grand bouleversement environnemental causé par l'Homme. L'opinion publique et même politique commence à prendre conscience de la nécessité de protéger le milieu naturel. Car au fur et à mesure du progrès socio-économique, l'humanité devrait reconnaître qu'elle déploie des effets néfastes sur l'environnement et, par voie de conséquence, la capacité hospitalière de la planète Terre (Loh et al. 2004; WWF 2016). Ceci dit, il faut aborder l'urbanisme et l'architecture selon une approche respectueuse de l'environnement, cette réflexion est soulevée notamment lors des sommets internationaux (Gauzin-Müller

2001:12). Il paraît donc que ce défi écologique devrait engager notre *responsabilité individuelle* et *collective* par rapport aux générations actuelles et futures.

Le réchauffement de la planète est observé par les climatologues, parmi ces spécialistes, nous trouvons le GIEC. Néanmoins, il faut mettre en lumière qu'au départ, la situation du système climatique était observée avec scepticisme, et ce n'est qu'à la deuxième conférence des Nations Unies sur les changements climatiques, qui s'est tenue à Genève en 1996, que les experts ont confirmé que « *les désastres naturels ont été multipliés par quatre au cours des trente années* », et que le monde a commencé à prendre conscience du bouleversement du système climatique. Il faut savoir par ailleurs que le réchauffement planétaire n'est pas un problème scientifique seulement, mais il affecte plutôt l'économie, la sociologie, la géopolitique, les actions locales, les choix individuels et les modes de vie.

1.1.5. Le réchauffement climatique, une définition en transfiguration dynamique

Le réchauffement climatique, appelé ainsi le réchauffement planétaire, signifie le phénomène d'augmentation de température à la surface de la planète (température des océans et de l'atmosphère terrestre), ce phénomène se mesure sur plusieurs décennies et à l'échelle globale (GIEC 2015b:4). En outre, la tendance des changements climatiques a commencé à être observée avec acuité au début du XX^e siècle ; en effet, l'ONU a créé en 1988 le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC²⁶), dans leur quatrième rapport, ce groupe avait affirmé que les modifications climatiques sont dues à l'augmentation des gaz à effet de serre d'organismes anthropiques.

1.1.6. Le mécanisme de l'effet de serre, le berceau enlaçant la vie

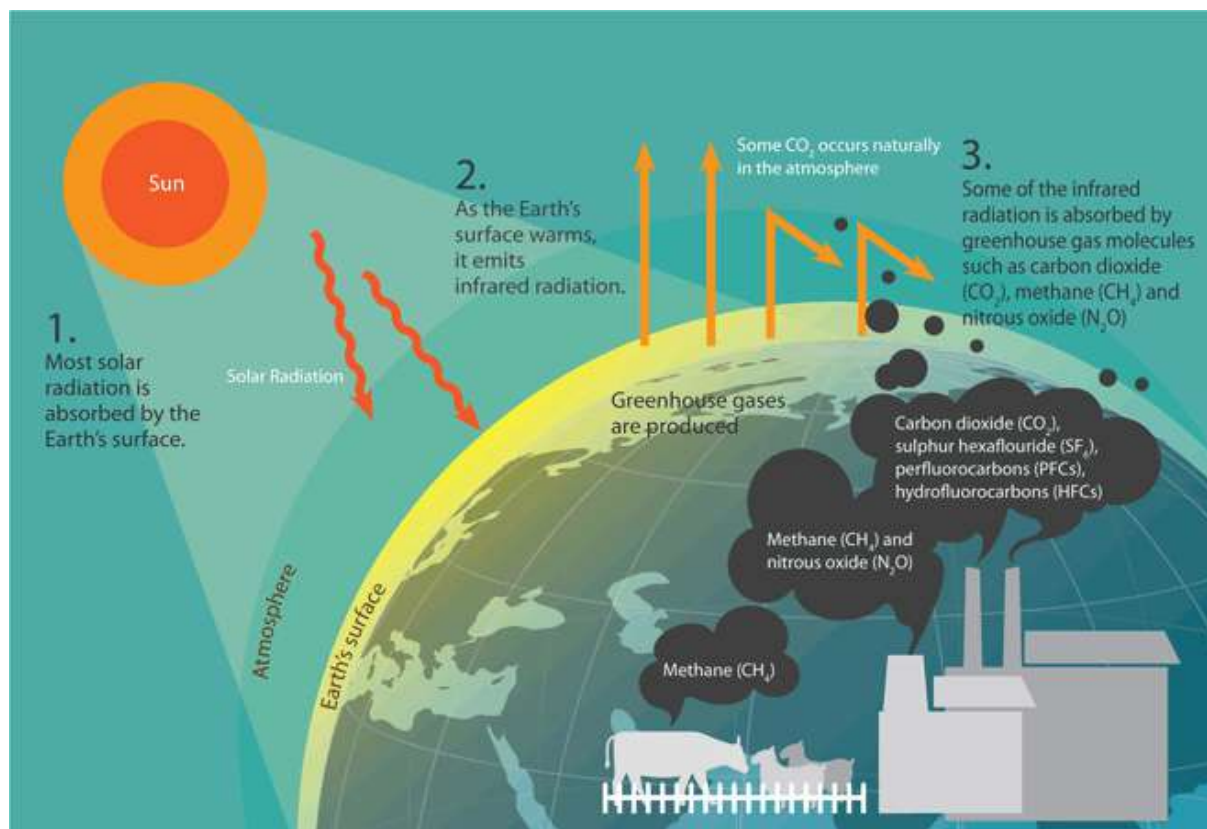
S'agissant d'un mécanisme naturel, l'existence de certains gaz dans la couche atmosphérique permet de retenir la terre chaude. Si cette couche n'existe pas, la température moyenne à la surface de la Terre serait de -18 °C contre 15 °C actuellement (Fig.16).

Dans ce contexte, il est important de souligner que la Terre tire quasiment son énergie du rayonnement solaire, comme la température à la surface du soleil est d'environ 5 500 °C, la lumière qui nous est transmise est principalement de la *lumière visible*, de l'*ultraviolet* et l'*infrarouge proche*. La Terre, quant à elle, réfléchit directement une partie de ce rayonnement (environ 30 %) de ce que nous appelons *Albédo* et elle absorbe le reste, c'est comme ça qu'elle tire son énergie (*un système fermé*). À l'instar des autres corps qui se réchauffent, la Terre émet un rayonnement de l'infrarouge lointain, s'il n'y avait pas d'effet de serre, ce rayonnement aurait été réparti dans l'espace et il ferait moins de -18°C à la surface de la Terre. Ce rayonnement de l'*infrarouge lointain* qui est émis par la Terre est fortement absorbé

²⁶ Le GIEC a été créé par le programme des Nations Unies pour l'environnement et l'organisation météorologique, il se compose en trois groupes de recherche et il a pour mission d'évaluer l'information scientifique sur les changements climatiques, leurs impacts et les mesures de prévention et d'adaptation envisageables.

par les gaz de l'atmosphère et il réémet une partie vers la Terre, ce mécanisme crée un flux supplémentaire qui contribue à réchauffer la planète, et c'est ce que nous appelons *effet de serre* (Maslin 2004:4).

Figure 16 : Mécanisme de l'effet de serre.



Source : Secrétariat national du changement climatique, 2015.

Notons que ce mécanisme a été modifié par l'homme par le biais de ses activités intensives, surtout, durant la révolution industrielle, pendant laquelle l'utilisation des énergies fossiles dans l'industrie, les résidentielles, le transport, l'agriculture était à un rythme de plus en plus rapide. Ces gaz s'accumulent dans l'atmosphère et modifient la composition naturelle de cette couche de gaz (Argon 1%, Nitrogène 78%, Oxygène 21%, Dioxyde de carbone 0,03% et d'autres gaz représentent 0,07%)(Maslin 2004). Un comprimé scientifique solidement établi affirmant que l'*activité humaine* inflige le mécanisme de l'*effet de serre*, ce mécanisme, quant à lui, se manifeste via un ensemble d'agréats de phénomènes infligeant à leurs tours l'humanité et les écosystèmes.

1.1.7. Les gaz à effet de serre et leur potentiel de réchauffement global

Avant d'identifier les gaz responsables de l'effet de serre, nous devons comprendre qu'est-ce qui fait qu'un tel gaz est un gaz à effet de serre ? Pour cela, il faut que le rayonnement infrarouge lointain émis par la Terre puisse être absorbé par l'atmosphère, et pour qu'un gaz puisse absorber de l'infrarouge lointain, il faut qu'il soit composé de trois atomes dans sa

molécule ou alors, éventuellement, de seulement deux atomes différents. Ce qui explique, d'ailleurs, pourquoi les molécules de l'*Oxygène* (O₂), de l'*Azote* (N₂), et de l'*Argon* (Ar) ne sont pas des gaz à effet de serre.

Les actions climatiques qui sont menées pour lutter contre les modifications climatiques visent six types de gaz à effet de serre, qui sont d'ailleurs couverts par le protocole de Kyoto (Tableau 1).

Tableau 1: Les GES couverts par le protocole de Kyoto.

Gaz	RGP (100 ans)	Durée de vie	Utilisation/présence
Dioxyde de carbone (CO ₂)	1	100	Naturel, issu de combustion
Méthane (CH ₄)	23	12	Dégradation anaérobie de la matière organique, mine de charbon, élevage de ruminants, rizière
Protoxyde d'Azote (N ₂ O)	296	114	Utilisation d'engrais azotés, transformation des matières azotées dans les sols, industrie chimique
Pro fluorocarbures (PFC)	5 700 à 14 900	2 600 à 50 000	Fluides frigorigènes (gaz réfrigérants), mousses plastiques, composants électriques, double-vitrage
Hydrofluorocarbures (HFC)	12 à 12 000	0,3 à 260	
Hexafluorure de Soufre (SF ₆)	222 000	3 200	

Source : GIEC, 2014.

1.1.8. L'histoire du réchauffement global, d'un doute confus vers une assurance évidente

Le mécanisme de l'effet de serre a été décrypté par les travaux du français Joseph Fourier en 1824, mais ce n'est qu'à la fin de XX^e siècle que le suédois Svante Arrhenius montre la relation entre la concentration de dioxyde de carbone dans l'atmosphère et la hausse de température moyenne du globe terrestre. À cet effet, des mesures radicales ont été prises par Keeling et ses collaborateurs à l'observatoire de Mauna Loa (Hawaï) qui ont mis en évidence l'influence des activités anthropiques sur l'augmentation du taux de dioxyde de carbone dans

l'atmosphère. Ensuite, les projections qui ont été faites, notamment, celles de l'institut Pierre Simon Laplace et de Météo-France, démontraient que le réchauffement climatique moyen de la Terre à la fin du XX^e siècle et le début de XXI^e siècle serait, probablement, entre 1,1 °C et 6,4 °C, tenant en compte que cette fourchette s'explique par environ la moitié, tout d'abord, par les incertitudes des scénarios socio-économiques qui ont été établis, et l'autre moitié, par le degré d'incertitude dû à la simulation (GIEC 2015a; Maslin 2004:24; Pennequin et al. 2011).

Le GIEC, aujourd'hui, construit six modèles théoriques en vue de comprendre la réponse du système climatique d'ici à 2100. L'existence de ces six modèles se traduit par la complexité du changement climatique qui prend en charge plusieurs facteurs.

1.1.9. Profil climatique du monde : Responsabilités et défis

Il est très important de souligner les modifications climatiques amorcées par les activités humaines (agriculture intensive, combustion des fossiles, urbanisation, etc.), et pour pallier ces problèmes écologiques, il faut faire des sacrifices, néanmoins, aucun pays n'accepte d'en faire. Le monde continue d'utiliser les énergies fossiles grâce à leur caractère : transformable, transportable, stockable et convertible, notamment pour le cas du pétrole. Le pétrole quant à lui est associé à plusieurs crises écologiques, telles que la marée noire, la guerre des pays du golfe, les émissions de gaz à effet de serre ou encore la pollution des plastiques.

Il est aussi crucial de mettre l'accent sur la répartition inégale des ressources du pétrole dans le monde: 68% au Moyen-Orient, 7% en Afrique, 7% au Venezuela, 5,6% en Asie, 5,4% en Amérique du Nord et 1,8% en Europe de l'Ouest. Cela génère des inégalités et des conflits depuis 100 ans, raison pour laquelle le contrôle de ces sources pétrolifères devient une source de guerre géopolitique. Malgré cette répartition désordonnée, il faut reconnaître que les pays du Nord empruntent une grande quantité d'énergie fossile et émettent, par voie de conséquence, une grande quantité de gaz à effet de serre. L'Amérique du Nord, l'Europe et l'Asie émettent 90 % du bilan planétaire (Maslin 2004).

Bien que tous les gisements de pétrole ne soient pas découverts, il faut se rendre compte aussi qu'ils n'ont pas une grande longévité. C'est pour cela que l'humanité est invitée à opérer une transition écologique qui ne peut être qu'une transition énergétique.

Un autre organisme qui sert comme un liant entre la bipolarité (politique-scientifique) a vu le jour, le SBSTA. Il est attaché au GIEC, et sert de tampon entre les négociateurs politiques et le GIEC. Il a une mission spécifique par rapport à celle du GIEC, qui consiste à fournir des *avis* aux gouvernements, visant par son objectif à assumer le clivage entre les politiques et l'expertise scientifique, et ouvre une nouvelle perspective sur les modalités de refonte de l'action climatique.

1.1.10. **Préoccupations à l'échelle mondiale**

On s'accorde à dire que les pays industrialisés sont les premiers accusés d'avoir infligé le mécanisme de l'effet de serre, car ils portent la responsabilité historique en raison de l'antériorité de leur développement (croissance). Cependant, la scène politique mondiale reflète une situation si ambiguë, où règne un désaccord politique surtout à la sortie des États-Unis en 01 Juin 2017 de la convention qui fut arrêtée à Paris en 2015. Ce foisonnement d'intérêts géopolitiques affirme la chute libre du volontarisme des pays, notamment ceux du Sud, à lutter contre les changements climatiques, vu que le deuxième émetteur des gaz à effet de serre n'en fait rien.

À savoir que la Méditerranée, et même la région du MENA, ne représentait en 2008 que 0,14 % des crédits d'émissions enregistrées par le secrétariat de la convention climat, de plus, uniquement cinq pays en Méditerranéen ont vendu leur crédit d'émissions (y compris l'Algérie).

L'enjeu le plus crucial est celui d'instaurer des protocoles qui mènent aux quotas d'émissions, tout comme celui proposé dans le cadre du protocole de Kyoto, même s'il n'était pas aussi tangible, car plusieurs pays industriels ne tenaient pas aux objectifs fixés par ce dernier. Ce protocole a permis à certains pays d'augmenter leurs émissions (par exemple, +8% pour l'Australie), d'autres pays se sont juste engagés à stabiliser leurs émissions (c'est le cas pour la Russie et pour l'Ukraine), néanmoins, les pays européens sont arrivés à réduire leurs émissions par -8% pour Allemagne, les États-Unis par -7% et le Japon de -6%.

1.1.11. **Préoccupations à l'échelle locale (Algérie) entre un laxisme opérationnel et nonchalance gouvernementale**

Depuis l'ère industrielle, notre planète s'est réchauffée de 4°C en moyenne, toutes les grandes villes de la région devraient connaître des jours de chaleur exceptionnelle de plus en plus nombreux chaque année. Selon le rapport de la Banque mondiale *Turn Down the Heat : Confronting the New Climate Normal*, ces températures extrêmes toucheront en particulier la région du MENA ; d'après les prévisions, dans certaines régions d'Algérie, d'Arabie saoudite et d'Iraq, les températures estivales pourraient grimper de 8°C à la fin du siècle. Selon les données paléo-climatiques et géologiques disponibles, la planète n'a jamais connu une concentration aussi élevée de CO₂ depuis 15 millions d'années. Autant de paramètres dont il convient de tenir compte dans la perspective d'un développement qualifié *soutenable*.

L'ex-ministère algérien de l'Énergie, Monsieur *Mustapha Guitouni*, affirma que l'Algérie amorce une nouvelle dynamique d'énergie verte en lançant un programme ambitieux de développement des énergies renouvelables (EnR) et d'efficacité énergétique. Ce programme opte pour l'installation d'une puissance d'origine renouvelable de 22 000 MW à l'aube de 2030, qui se traduit par le pouvoir d'économiser 63 millions de Tep pour le transport, le bâtiment, l'industrie et l'éclairage public, un tel investissement permettrait au pays

d'économiser approximativement 38 millions de \$ (Ministère de l'Énergie 2016). Ce programme a été adopté par le gouvernement en février 2011 et révisé en mai 2015, et placé au rang de priorité nationale en février 2016 lors du conseil du restreint gouvernement.

Pour que le pays arrive en 2030 à subvenir à la demande en matière d'électricité et à pouvoir produire 22 000 MW à l'horizon 2030, un potentiel des énergies renouvelables a été identifié dans le territoire national qui se traduit comme suit (Ministère de l'énergie 2017) :

- *Un potentiel solaire* : l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde. À savoir que la durée d'insolation sur la majorité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3 900 heures (hauts plateaux et Sahara), l'énergie reçue annuellement sur une surface horizontale de 1 m² soit près de 3 kWh/m² — au nord et dépasse 5,6 kWh/m² — au Grand Sud (Tamenrasset).
- *Un potentiel éolien* : ce potentiel varie énormément d'un endroit à un autre à cause du climat et la topographie. Le Sud, encore une fois, a un potentiel électrique plus élevé que le Nord : le Nord avec une vitesse relativement de 6 à 7 m/s, contrairement au Grand Sud où nous y trouvons plus de 8 m/s.
- *Un potentiel d'énergie géothermique* : selon les études faites sur la base de géochimique et géophysique, plus de 200 sources chaudes ont été identifiées et ont été inventoriées dans la partie nord du pays. Il existe des sources à haute température pouvant atteindre 118 °C à Biskra.
- *Un potentiel hydraulique* : le potentiel hydraulique est de grande importance sur le territoire algérien est estimé à 65 milliards de m³. Néanmoins, ce potentiel est peu bénéfique au pays à cause de : nombre réduit de jours de précipitation, concentration sur des espaces limités, forte évaporation, évacuation rapide vers la méditerranée.
- *Un potentiel de biomasse* : ce potentiel se traduit par un potentiel de la forêt, qui est un potentiel évalué à 37 millions de Tep, le potentiel récupérable est de l'ordre de 3,7 millions de Tep, où le taux de récupération actuel est de l'ordre de 10 %.

Ces nouveaux types d'énergie seront, à l'aube de 2021, le moteur de développement d'une économie verte sobre en carbone. Le projet EnR sera réalisé en deux phases, dans la première qui s'étale sur la période 2015-2020, dans laquelle le pays vise à produire 410 MW via les panneaux photovoltaïques et l'hydraulique et 515 MW via la biomasse, la cogénération et la géothermie. La deuxième phase, quant à elle, s'étale sur une épaisseur temporelle de neuf ans 2021-2030 et pendant laquelle le pays optera pour le potentiel du solaire thermique (Ministère de l'énergie 2016).

Cette initiative est orchestrée par un cadre arsenal et juridique (Loi n° 02-01 relative à la distribution du gaz par canalisation, la Loi n° 02-01 relative à la promotion des énergies

renouvelables dans le cadre du développement durable, la loi n° 09-09 qui porte sur la relation d'un fonds national pour les énergies renouvelables et la cogénération et le décret exécutif n° 15-69 fixant les modalités de certification de l'origine de l'énergie renouvelable et de l'usage de ces certificats). Le programme d'efficacité énergétique vise à réduire 193 millions de tonnes CO₂ qui se répartissent sur trois épaisseurs temporelles (Tableau 2).

Tableau 2: *Stratégie de mitigation des gaz carboniques en Algérie.*

	2015	2020	2025	2030
Millions de tonnes CO ₂	1,1	32,5	95,5	193,3

Source : ME, 2016.

Dans un contexte gouverné par l'agitation climatique et la sortie de la dépendance des énergies fossiles, l'Algérie accroît sa production²⁷ d'énergie primaire qui atteint en 2016 166,2 millions de Tep, reflétant une forte croissance de 11,3 Tep (soit +7,3%) par rapport à 2015, dont 66,5% sont exportés²⁸ soit une hausse de +10,4% par rapport à 2015 (Ministère de l'Energie 2016). En l'occurrence, la consommation finale²⁹ d'énergie a enregistré une légère augmentation (+1,0%) pour atteindre 42,9 millions Tep. Dès lors, il faut mouvoir vite la population urbaine et son mode de vie pour pouvoir accommoder son bilan carbone.

Le pays aujourd'hui consomme³⁰ 58,3 millions Tep, soit un bilan de 48 389 000 éqC³¹. Ce qui rend un peu délicat d'atteindre l'objectif déjà défini par le pays en matière de lutte contre les changements climatiques. Par contraste à cette hausse rapide, la mise en service de 13 centrales photovoltaïques d'une capacité totale de près de 180 MW permettrait d'atteindre l'objectif déjà assigné par la voie des énergies renouvelables sombres en carbone. Le pays vise également à réduire ses émissions de GES d'ordre de 7% et 21% via le mécanisme de développement propre qui pourrait atteindre 6 millions de \$ (Nacer 2015).

1.1.12. Alliance entre dioxyde de carbone et profil climatique

L'une des façons par laquelle nous savons que le dioxyde de carbone atmosphérique est important pour le contrôle du climat mondial est l'étude de notre climat passé

²⁷La production industrielle du secteur public enregistre une hausse de (4,1 %) au troisième trimestre 2017, sachant que le secteur de l'énergie observe une hausse remarquable de (10,5 %), le redressement réalisé au niveau des matériaux de construction (+5,6 %) et finalement l'industrie agroalimentaire a observé une hausse de (+13,2 %) (ONS 2017a).

²⁸L'exportation a atteint 110,6 millions Tep (ME, 2017).

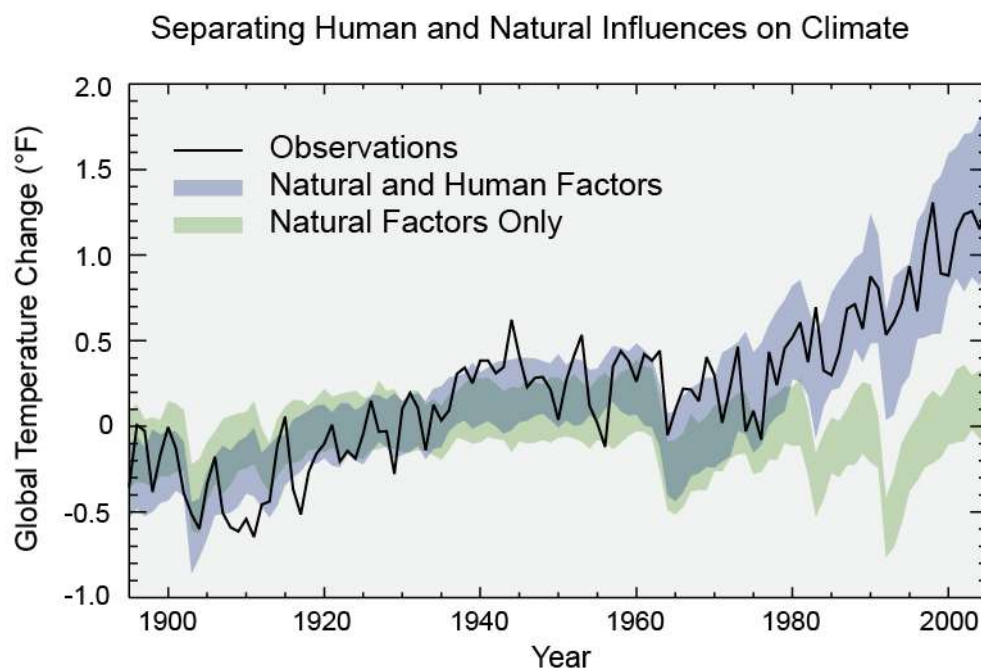
²⁹Une hausse pour l'électricité (+4,3 %) et le gaz naturel (+3,3 %). Par contraste, les produits pétroliers ont connu une baisse sensible de (-2,8 %) (ME, 2017).

³⁰La consommation finale par secteur est comme suit (2016) : industrie et BIP 9,2 millions Tep, transport 15,1 millions Tep et 18,6 pour les ménages et autres (Ministère de l'Énergie 2017).

³¹Selon l'ABC, 1 Tep = 830 kg éqC, donc (58 300 000 * 830) / 1 = 48 389 000 000 kg éqC.

(paléoclimatologie). Au cours des deux dernières millions et demi d'années, le climat de la Terre a oscillé entre les grands glaciers, avec des calottes glaciaires de plus de 3 km sur l'Amérique du Nord et l'Europe, à des conditions encore plus douces qu'aujourd'hui. Ces changements sont extrêmement rapides si on les compare à d'autres variations géologiques, telles que le continent à travers le monde, où nous constatons une période de plusieurs millions d'années. Mais comment savons-nous ces âges glaciaires massifs et le rôle du dioxyde de carbone ? La preuve provient principalement de carottes de glace forées en Antarctique et au Groenland. Lorsque la neige tombe, elle est légère et pelucheuse et contient beaucoup d'air. Lorsque cela est compacté lentement pour former de la glace, une partie de cet air est piégée. En extrayant ces bulles d'air piégées dans la glace ancienne, les scientifiques peuvent mesurer le pourcentage de gaz à effet de serre présents dans l'atmosphère passée. Les scientifiques ont foré plus de deux milles dans les calottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique, ce qui leur a permis de reconstituer la quantité de gaz à effet de serre qui s'est produite dans l'atmosphère au cours du dernier demi-million d'années (Fig.17). En examinant les isotopes de l'oxygène et de l'hydrogène dans le noyau de glace, il est possible d'estimer la température à laquelle la glace s'est formée. Les résultats sont frappants, car les gaz à effet de serre tels que le dioxyde de carbone atmosphérique (CO_2) et le méthane (CH_4) covarient avec les températures au cours des 400 000 dernières années (voir la figure en dessous).

Figure 17 : L'effet des émissions anthropiques de carbone sur l'évolution de la température mondiale.



Source : Agence de protection de l'environnement des Etats-Unis, 2017.

Ceci appuie fortement l'idée que la teneur en dioxyde de carbone dans l'atmosphère et la température globale sont étroitement liées, c'est-à-dire lorsque le CO₂ et le CH₄ augmentent, la température augmente et vice versa (Fig.15). C'est notre plus grande préoccupation pour le climat futur : si les niveaux de gaz à effet de serre continuent d'augmenter, la température de notre atmosphère augmentera également (Maslin 2004).

1.1.13. Les impacts nocifs du dérèglement climatique

Les changements climatiques ont des conséquences multiples, et le public commence à comprendre leur ampleur : fonte des calottes glaciaires, inondations, désertification, torrents de boue, cyclones. Ces catastrophes naturelles et les destructions qu'elles entraînent ont un impact sensible sur le PIB des pays souvent très pauvres. Dans certaines régions du globe, elles ont déjà des conséquences dramatiques : déplacements de populations, pénuries alimentaires, épidémies (Gauzin-Müller 2001, 12).

Les changements climatiques ont des impacts nuisibles parfois irréversibles, il pèse une pression colossale sur toute une panoplie de facteurs :

- *La hausse du niveau de mer*

Il n'existe pas actuellement un modèle associé à des scénarios capables de donner des chiffres globaux sur l'augmentation du niveau de la mer, seulement quelques études qui ont été faites en météorologie donnant une estimation d'une augmentation moyenne du niveau de mer d'ici à la fin du siècle de 35 cm. L'augmentation du niveau de la mer se traduit par :

- o Aggravation des submersions sur les côtes basses, en particulier les espaces deltaïques, les littoraux à lagunes, les marais maritimes ;
- o L'accélération des érosions sur les falaises et les plages ;
- o Le renforcement de la salinisation ;
- o La réduction du volume des nappes phréatiques d'eau douce.
- o Le recul de la couverture neigeuse, la fonte des glaciers et des calottes polaires s'accroîtra, et l'élévation du niveau des océans pourrait atteindre +59 centimètres en 2100.

- *Des menaces sur la biodiversité*

Au cours du XXe siècle, le déplacement des espèces vers le Nord est déjà observé en raison de la migration de leur niche écologique, en plus du déplacement spatial, un déplacement dans le temps a aussi été remarqué quant aux dates de migration de certains animaux, et de récolte de certains fruits. Ces phénomènes vont s'accroître au cours du XXI^e siècle, à cause desquels nous allons constater la déperdition des espèces terrestres et marines, et une baisse importante de la biodiversité, soit parce que la migration des niches écologiques s'accomplira

plus vite que celle des espèces, soit parce que la migration des espèces rencontrera des barrières physiques infranchissables, ou tout simplement à cause de la disparition de certaines niches écologiques, à savoir que les mammifères des régions de plaine en Méditerranée seront vraisemblablement visés (entre 5 à 10 % des espèces menacées de disparition d'ici la fin du siècle) (Pennequin et al. 2011:11).

- *Insécurité alimentaire*

Les impacts attendus sur la disponibilité de l'eau, les écosystèmes, l'agriculture et la santé humaine pourraient entraîner un déplacement de population de grande envergure et avoir des conséquences sur la sécurité humaine et alimentaire.

Les pays méditerranéens risquent de connaître des réductions importantes de leurs ressources en eau, au Sud et à l'Est, les climatologues estiment qu'en 2050 environ 290 millions de personnes pourraient se retrouver en situation de pénurie d'eau. Cette perspective couplée à la sécheresse devrait se traduire en une baisse significative dans le rendement agricole.

Les scientifiques estiment qu'en 2020, le rendement des céréales pourrait se comprimer au Maroc de 10 % en année normale et de 50 % en année sèche, en effet, en Algérie des réductions sont déjà anticipées de l'ordre de 7,5 à 14 % en année normale, le rendement des légumes quant à lui pourrait diminuer de 10 à 30 % en Algérie et près de 40 % au Maroc. Cette situation alarmante se traduit par la réduction de la productivité des pâturages, principalement dans les régions steppiques (Pennequin et al. 2011:12).

- *Menaces sur la population humaine*

Après les réfugiés des guerres ethniques, s'en viennent des réfugiés climatiques issus de la montée des eaux dans les zones deltaïques, et même la disparition programmée de certains États regroupés autour de l'Aosis (Alliance des 42 petits États insulaires) (Pennequin et coll. 2011, 18). Il a créé de nouveaux contextes sanitaires favorisant la prolifération des moustiques vecteurs du *paludisme*, de la *fièvre jaune* et de la *dengue*, à savoir que des cas de paludisme sont ainsi remarqués sur les hauts plateaux du Kenya à une altitude où ils n'avaient jamais été observés (Pennequin et al. 2011, 111).

- *Stress hydrique*

100 millions de personnes souffrent aujourd'hui des manques en eau, elles seront 300 millions en 2100, à savoir que nous attendons une baisse de la disponibilité en eau en 2100 de l'ordre de 30 %. Les impacts des modifications climatiques, malheureusement, exacerbent ce stress via l'augmentation des périodes de sécheresse, l'augmentation de la température accompagnée par une augmentation de la teneur d'évaporation. La meilleure solution pour contrecarrer le stress hydrique serait alors la construction de stations de déstalinisation.

1.1.14. **Calendrier des initiatives menées en faveur du climat**

La modification de la composition gazeuse de l'effet de serre a dû changer le climat, pour s'y mettre, plusieurs actions et initiatives ont été mises en œuvre pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, commençons en 1972, avec la conférence de Stockholm intitulée *sommet de l'environnement* (Wackermann 2008a, 373), durant la même année, le Club de Rome publia son rapport « *Halte à la croissance* », où il utilisait un raisonnement malthusien avec quelques améliorations tout en réduisant des paramètres supplémentaires. Le rapport montre que les ressources de la Terre ne suffiront pas pour la survie de celle-ci dans les décennies à venir sans aller jusqu'à un nombre maximum d'habitants sur la terre. Les calculs avaient pour vocation d'alerter les décideurs politiques sur les risques que le fait d'atteindre ou de dépasser la capacité de charge de la planète ferait courir à l'humanité, ils ont scandé, entre autres, ce que nous appelons le « *régime climatique* ». S'agissant d'un système complexe d'arènes et d'institutions qui réunit des acteurs et des partenaires de plus en plus nombreux, ce régime a suscité des procédures d'évaluation et de validation et a vu s'affronter des intérêts socioéconomiques et des enjeux politiques variés et a établi, en fin, des relations particulières entre sciences, expertises, politiques et marchés, parmi de nombreux exemples de « *régimes* » en relation internationale figurent les traités et les institutions de lutte contre le changement climatique, le champ des recherches sur les régimes est dynamique et productif et a vu récemment émerger de nouvelles approches et notions, comme celles de « *complexes de régimes* », de « *régimes polycentriques* », « *transcalaires* » ou « *fragmentés* » (Biermann 2012). Ces débats révèlent une complexification du paysage international qui pose des questions importantes, y compris pour la lutte contre le changement climatique. En effet, il y a trois piliers du régime climatique, d'une manière synthétique, nous pourrions estimer que, depuis vingt ans, le régime climatique s'est articulé principalement autour de trois éléments : « un processus politique et une expertise scientifique séparée, mais étroitement liée, une stratégie dite de « *partage du fardeau* » (qui a prévalu depuis les origines jusqu'à la COP de Cancún en 2010, au moins) avec des valeurs d'atténuation des émissions de CO₂ et des objectifs de stabilisation, dont la définition et l'ambition constituent l'objet essentiel de la négociation climatique ; et, enfin, sans confusion entre pays industrialisés et pays en développement, d'abord très nette, mais qui, avec la progression des grands émergents, a tendu à se brouiller (Aykut and Dahan 2015).

Le sommet de Rio de Janeiro en 1992, entré en vigueur qu'en 2004, après avoir été ratifié par 188 États (Wackermann 2008:68), avait une dimension sociale et culturelle qui marqua les esprits, il était immatriculé par l'absence d'un accord sur l'usage de l'instrument fiscal, et donc à cette époque modifier le climat était gratos et illimité (Gauzin-Müller 2001).

En 1994, la mise en œuvre de la convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, puis le protocole de Kyoto en 1996, expiré en 2012 — il n'a été ratifié par 150 États qu'en 2005 pour entrer alors en vigueur (Wackermann 2008:68), ayant une vocation

plus opérationnelle, où les pays se sont engagés à réduire, globalement d'une façon juridiquement contraignante, leurs émissions de 5,2 % pour la période 2008-2012 par rapport à leur niveau en 1990 (Article 3 du Protocole), il mena trois types d'action (i) réduire la consommation d'énergie ; (ii) remplacer les énergies fossiles par des énergies renouvelables ; (iii) stocker du carbone (Gauzin-Müller 2001:14). Ainsi, nous y voyons l'apparition du système dit « *cap and trade* » qu'est une plateforme d'échange des droits d'émissions pour faire émerger un prix international du carbone, nous y remarquons ainsi un élément complémentaire qui s'appelle « *le mécanisme de développement propre — MDP —* » qui permet de prodiguer des aides financières aux pays de Sud afin de les aider à se lancer vers une économie verte et sobre en carbone ou moins émettrice de carbone, la mise en place d'un système de permis d'émissions qui seront négociables sur un marché de permis dont les COP ultérieurs préciseront les modalités, par exemple, les pénalités et sanctions nécessaires à un bon fonctionnement du marché ont été introduites. Dans cette vapeur, signalons qu'il y a plusieurs initiatives plus opérationnelles qui ont vu le jour telles : LC² (low-carbon and livable city) promue et orchestrée par la Banque mondiale.

En 1987, le protocole de Montréal, entré en vigueur après deux décennies (2007) après sa ratification par 193 pays (Wackermann 2008:68), qui redresse les émissions de certains types de gaz en dehors du Protocole de Kyoto. Il se focalise sur les substances qui dégradent la couche d'Ozone, l'objectif qui fut accompli avant 1998 dans lequel il est recommandé aux pays signataires de réduire leurs émissions à 20 %. Cet accord fixe le même taux de réduction des gaz anthropiques pour tous pays concernés, il représente un exemple d'accord « *UT* », mais il inclut aussi un schéma de transferts compensatoires. Ce schéma, connu sous le nom de Fonds Multilatéral instauré en 1990, est prévu pour le financement des coûts supplémentaires induits par la mise en œuvre du Protocole des pays en développement.

En 2009, à Copenhague où les pays émergents et les États-Unis ont pris des engagements (L'ascension, au cours de la première décennie du XXI^e siècle, des grandes économies émergentes – et d'abord de la Chine, devenue en 2007 le premier émetteur mondial de CO₂ (Aykut and Dahan 2014)) pour réduire les émissions, cependant, cet engagement s'est accompagné d'un affaiblissement du dispositif de suivi, sans homogénéisation des méthodes, ni de système de monitoring, de reporting et de vérification — MRV —, avec cette vision modeste, ce système n'a guère de chance de correspondre à l'objectif des 2°C, mais nous y signalons le transfert d'un budget énorme, il se contente d'enregistrer des engagements de transferts financiers du Nord vers le Sud [30Md \$ à partir de 2010 à 2012], hélas, ils n'ont guère de portée réelle tant que ses origines ne sont pas précisées, ni la destination, ni même l'usage des fonds mobilisés (De Perthuis and Juvet 2015).

Les conférences climatiques annuelles, les COP, et les rapports du GIEC [1990, 1995-1996, 2001, 2007, 2013-2014-2015] ont un but clair et précis, celui de redresser la vision politique

des pays en faveur de la lutte contre les changements climatiques. Un certain progrès a été constaté lors des négociations climatiques qui se sont tenues à Cancún et à Durban 2010-2011, néanmoins il faut signaler que l'avenir des futurs accords climatiques reste toujours inconnu, voire très obscur. Les pays sont invités à participer aux Accords environnementaux internationaux (désormais notés AEI) et à se mettre en conformité avec leurs dispositions.

En 2000, la conférence de La Haye a réuni les diplomates de 180 pays pour finaliser les modalités du protocole de Kyoto, qui impose à 38 pays industriels des quotas de réduction des émissions de CO₂ et de cinq autres gaz à effet de serre. Ce sommet s'est soldé par un échec, causé entre autres par les divergences entre l'Europe et les États-Unis sur les puits de carbone.

En 2002, une nouvelle rencontre internationale, intitulée : « *Rio+10* » était prévue en 2002 à Johannesburg pour retisser les divergences entre les États-Unis et l'Europe. Passons au sommet de Johannesburg en 2002 qui traita à la fois d'un enjeu bilatéral (un enjeu international et un enjeu africain), la tenue du sommet en Afrique a contribué à valoriser un continent oublié et marginalisé et à redonner une nouvelle vision à un Sud plus autonome (Wackermann 2008:277).

Quant aux COPs (depuis 1995 à Berlin jusqu'en 2016 à Marrakech), elles sont marquées par deux repères majeurs, la COP21 à Paris, qui est vue comme le sommet de la dernière chance, dans laquelle nous pouvions toucher la réalité de plusieurs enjeux géopolitiques forts quant aux attributions des objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre, voire même, la définition d'objectifs de coopération pour renforcer les capacités d'adaptation dans les pays en développement, et de garantir un financement Nord-Sud. Toutefois, la COP21 a certainement témoigné d'un engagement croissant des gouvernements de tous les pays, sauf les États-Unis, contre le changement climatique et un intérêt des sociétés civiles plus intense que jamais. Ainsi, une aide financière aux pays en voie de développement pour les aider à s'adapter aux changements climatiques, l'accord prévoit un objectif pour 2020 de 100 milliards de dollars par an en soutien financier des pays développés., l'accord prévoit un objectif pour 2020 de 100 milliards de dollars par an en soutien financier des pays développés. [L'accord exclut explicitement la responsabilité et l'indemnisation tout en obligeant les pays à créer un processus visant à réduire les pertes et les dommages causés lorsque les efforts d'adaptation sont insuffisants].

Or c'est pendant la COP₂₂ à Marrakech, qui s'est focalisée beaucoup plus sur les effets des changements climatiques, sur les modalités d'adaptation et d'atténuation des gaz anthropiques, que nous avons remarqué une grande volonté d'établir une transition énergétique— énergie solaire via les panneaux photovoltaïques —ainsi pour la crise de l'eau, et nous prévoyons la focalisation sur les enjeux de l'eau dans la prochaine COP 23 à Bonn,

notamment, pour les stress hydriques et ses effets pervers sur l'agriculture et les modes d'approvisionnement en nourriture et en eau potable.

1.1.15. L'ancrage territorial pour militer contre les changements climatiques : La ville Post-carbone, une panacée universelle

La ville post-carbone se veut comme une nouvelle mutation dans la manière dont nous pensons, concevons et agissons sur nos villes. Comme toute nouvelle expérience d'une démarche respectueuse de l'environnement, la ville post-carbone se mobilise à travers l'engagement des acteurs concernés.

On s'accorde que l'avenir de la ville durable suggère plusieurs modèles de villes, parmi ces modèles nous y trouvons : la ville jungle, la ville vaisseau, la ville intelligente, la ville inclusive et résiliente et la ville post-carbone. Bien que la majorité de ces réflexions soient jugées utopiques et parfois même opposées, la ville post-carbone, selon Jacques Theys, est une utopie dynamique qui est réaliste, qui porte du fait qu'elle contribue de manière déterminante à l'effet de serre et à la consommation énergétique.

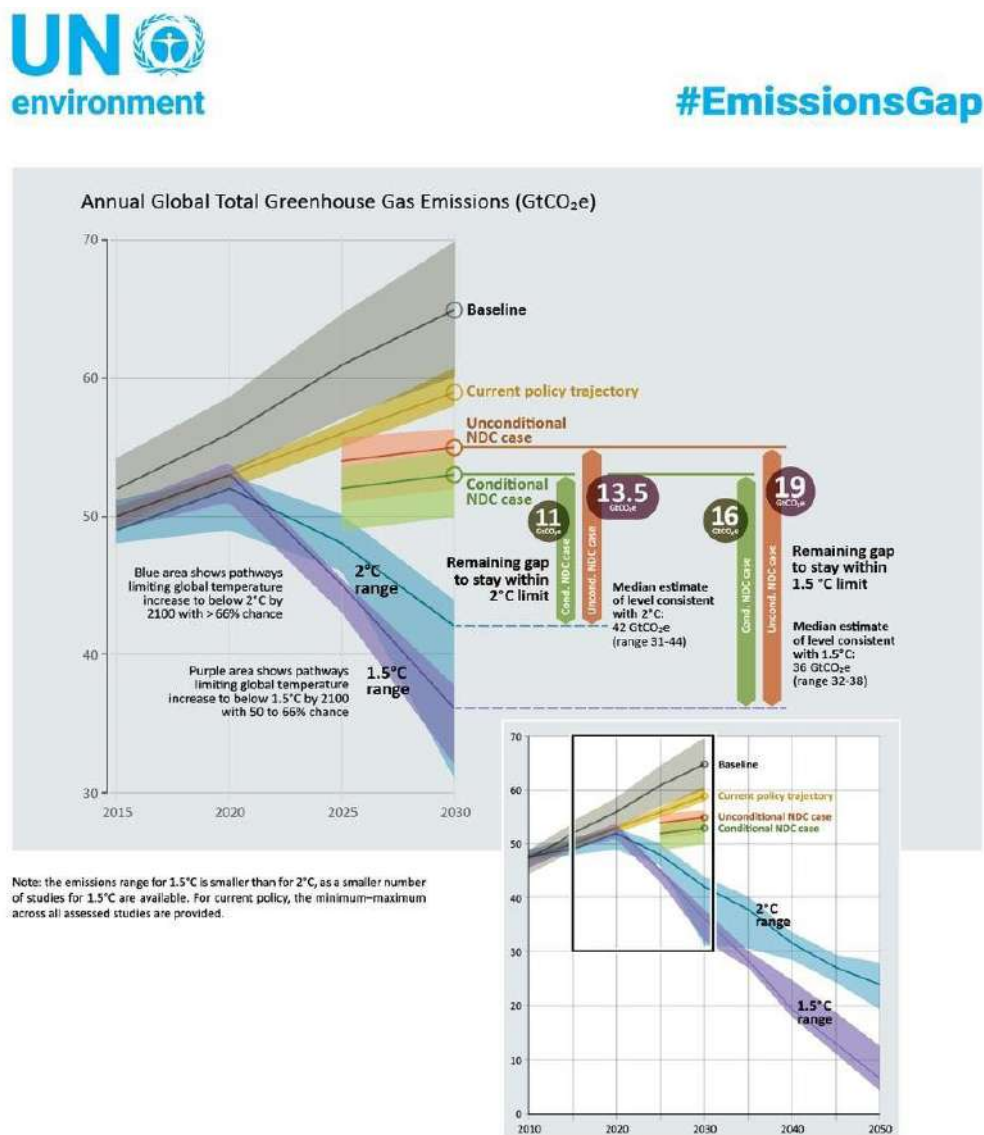
1.1.16. Vers un nouveau cap climatique : Quelle trajectoire lucide pour désintoxiquer la biosphère

Pour atteindre la stabilité la température de la Terre en deçà de 2 °C (Fig.18), il faudrait que tous les pays s'y mettent, et donc, un nouveau régime post-Kyoto devrait définir de nouveaux objectifs plus ambitieux en changeant notre méthode de travail et adoptant une nouvelle logique, avec la réactualisation du cercle d'acteurs et en s'outillant de nouveaux outils.

Une autre mesure est jugée opérationnelle, celle de la géo-ingénierie, ou ingénierie climatique, qui consiste en la manipulation de l'environnement de la planète pour contrecarrer les CC d'origine anthropique, toutefois, avec la méconnaissance des impacts de ces solutions sur les échanges océano-atmosphérique, sur le cycle du carbone et sur le climat global de la biosphère. En outre, le seul document juridique qui régit cette action est la convention Enmod³², qui interdit l'usage militaire des modifications climatiques, mais n'empêche pas l'utilisation de ce type de procédés à des fins civiles (Alex 2014).

³² Convention sur l'interdiction d'utiliser des techniques de modification de l'environnement à des fins militaires ou toute autre fin hostile, signée le 18 mai 1977 et entrée en vigueur le 5 octobre 1978 (Alex, 2014).

Figure 18 : Trajectoires climatiques nécessaires à l'horizon de 2100.



Source : Nations Unies, 2016.

1.1.17. Méthodologie d'évaluation des gaz à effet de serre à l'échelon des villes

Toutes les villes du monde sont blessées par des problématiques d'ordre environnemental. Quantifier et rapporter leur bilan carbone est très important pour mobiliser et préparer des tactiques/stratégies en vue d'accommoder cette externalité négative via des mesures d'atténuation et d'adaptation. Selon l'ONU, les collectivités territoriales doivent entamer des mesures pro-climatiques, dont 90% des mesures adaptatrices et 70 % des mesures de mitigation.

La première tentative pour évaluer l'impact environnemental des villes était l'application du *Métabolisme urbain* durant les années 1960. Cette vision nous a permis d'analyser les flux des énergies et matières premières associés à l'activité humaine (consommation/production)

en empruntant différentes méthodologies développées ces 20 dernières années (Chen and Chen 2015). En effet, l'empreinte carbone urbaine représente l'un des outils les plus performants à l'échelle globale, à savoir plus de 91% des études qui ont appliqué cette méthodologie procurent des informations utiles dans le but d'entamer des actions de mitigation. Toutefois, l'ECU est complexe à cause de la prise en compte de plusieurs aspects.

Durant les dernières années, plusieurs chercheurs, organisations et dirigeants politiques ont proposé plusieurs modèles de comptabilisation des GES (déterminer quel type d'émission à prendre en considération), et ceci suivant différentes méthodes (et à plusieurs imbrication d'échelle). Par ailleurs, il faut noter que la polysémie des concepts relatifs aux contextes des changements climatiques est souvent contraignante et jugée de générer de vives controverses (Lombardi et al. 2017a).

L'objectif de l'empreinte carbone est de mesurer la quantité des émissions de CO₂ et d'autres gaz associés directement ou indirectement au processus de production. Tous les outils utilisent l'unité de mesure eqCO_2 par la médiation du potentiel du réchauffement global (PRG).

L'empreinte carbone est appliquée à des opérations multi-scalaires (Fig.19) : maison, organisation, coopération, nation et villes qui optent pour la maîtrise de leurs émissions de GES. Il va leur falloir un outil qui leur permette d'opérer une telle action sur le territoire concerné. Néanmoins, il faut signaler qu'il existe une nuance significative entre l'EC appliquée à l'échelle d'un pays et à l'échelle d'une ville, à savoir :

- *À l'échelle d'un pays* : les données relatives aux émissions sont basées sur les activités productrices qui se déroulent dans les limites spatiales du pays ; et
- *À l'échelle d'une ville* : la méthode pour évaluer le bilan carbone des villes est considérée plus complexe que celle d'un pays (Ibrahim et al. 2012), le bilan carbone pourrait être établi en fonction de la relation spatiale entre le système urbain et le système naturel « *hinterland* » et les ressources du Web. À savoir qu'à cette échelle-là, elle se caractérise par (i) l'absence quasi-totale des données et (ii) l'existence de plusieurs connexions entre la population et les activités économiques qui rendent encore plus délicate l'allocation des GES.

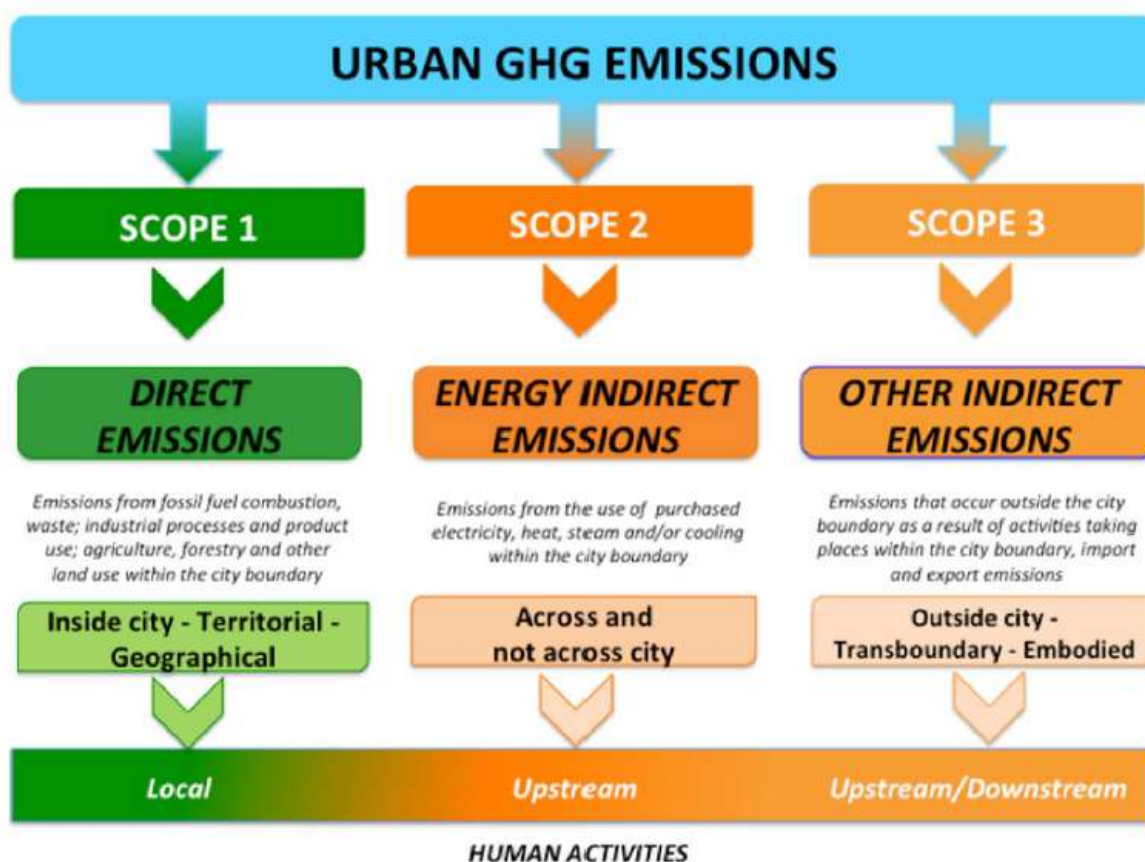
Nous trouvons plusieurs appellations notamment : embodied carbon, carbon content, carbon flows, virtual carbon, GHG footprint et climate footprint (Elena M Bennett et al. 2015; Hoegh - Guldberg et al. 2018; Peters and Hertwich 2008).

Pour évaluer les émissions d'une ville, il faut prendre deux variables :

- *Limites spatiales* : les émissions peuvent avoir lieu à l'intérieur (*in-boundary*) ou à l'extérieur (*out-boundary*) de la ville, générant des émissions directes et indirectes ;

- *Typologie de la ville (« ou de la communauté »)* : selon la structure économique, nous pouvons distinguer trois types de typologies (i) *villes productrices* : renvoie aux villes productrices ayant un bilan lourd de GES à cause de la production locale, (ii) *villes consommatrices* : concerne les villes suburbaines dominées par les maisons avec des émissions relatives à la consommation, et (iii) *villes équilibrées* : une ville équilibrée entre les émissions relatives à la production et à la consommation, et qui n'a donc aucune typologie.

Figure 19 : Scopes des inventaires de GES.



Source : Lombardi et al, 2017.

Pour choisir quel type d'émissions, il faudrait prendre en considération dans l'inventaire la portée des trois Scopes³³ :

Selon la *typologie des villes* et les *limites spatiales*, il existe trois systèmes de comptabilité, nous trouvons souvent dans la littérature d'autres termes tels que : approches, modèles ou bien perspectives qui sont utilisés pour représenter l'impact environnemental à l'échelle de la

³³ Les Scopes sont utilisés pour standardiser les émissions de gaz à effet de serre (directes et indirectes). Ces Scopes étaient élaborés par The World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) et World Resources Institute (WRI) en 2001 (Lombardi et al. 2017).

ville corrélée aux changements climatiques et une combinaison entre eux est souvent empruntée :

- *Système territorial* : vise à calculer les émissions se produisant à l'intérieur de ses frontières et des zones extracôtières relevant de la juridiction de la ville, elle englobe scope 1 et scope 2. Il est utilisé notamment dans la typologie *des villes productrices*.
- *Système basé sur la production* : vise à calculer les émissions qui se produisent soit à l'intérieur de la ville ou à l'extérieur, cette approche se focalise sur les émissions émises par les activités économiques. Elle inclut les trois scopes. Il est utilisé dans la typologie *des villes balancées*.
- *Système basé sur la consommation* : vise à calculer les émissions associées à l'énergie fossile, et les produits et services utilisés par la ville. Il inclut, par conséquent, les sources d'émissions qui se trouvent en dehors des limites de la ville. Ce système prend en compte les trois scopes. Il est considéré comme le système le plus compréhensif par rapport au *système territorial* et au *système basé sur la production*. Il est utilisé dans la typologie *des villes consommatrices*.

Récemment, les chercheurs proposent de nouvelles approches hybrides pour qu'elles soient encore mieux adaptées, standardisées et normalisées afin d'être utilisées dans le monde entier, citons en 2011, le développement de *Geographique-Plus Infrastructure Supply Chain GHG Footprint*, en 2012, *Transboundary Infrastructure Supply Chain Footprint Method (TBIF)*, en 2013, *Trans-boundary Community-Wide Infrastructure Footprint (CIF)*. Après deux ans, d'autres chercheurs ont élaboré *Production-Based Footprint (PBF)* et *Purely Production Footprint (PPF)* (Lombardi et al. 2017b).

Autre mesure qu'il faut prendre en considération est la méthode d'inventaire des émissions de gaz à effet de serre à l'échelle d'une ville, et pour ce faire trois méthodes peuvent être identifiées : (i) IPCC, (ii) ACV et (iii) EIOA, le choix de ces méthodes se fait en référence de l'échelle ; soit nationale (Top-Down Input-Output analysis) ou locale (Bottom-Up appliquant ACV), nous résumons ces méthodes dans le tableau (Annexe A.04 Tableau 01).

Le réchauffement climatique est l'un des problèmes scientifiques les plus controversés du XXI^e siècle. Ce phénomène n'est pas appréhendé par certains chercheurs qui essayent de (dé) montrer que le changement climatique n'est qu'une nouvelle manière de fraude économique appliquée à l'échelle mondiale, et que l'augmentation du dioxyde de carbone anthropique dans l'atmosphère n'affecte pas le système climatique ou il a un tout petit minuscule impact (Annexe A.04 Tableau 02).

Alors, comment se fait-il que l'arnaque continue ? Parce que c'est payant ! Toute sorte des taxes vertes imposées à la populace tellement brainwashée qu'elle accepte sans réagir de

diminuer son niveau de vie et de donner toujours plus d'argent à de faux prophètes (GIEC) pour sauver la planète.

1.1.18. Controverses suscitées autour du climat

Ce qu'il faut retenir –en ce qui concerne l'action climatique- c'est qu'il n'existe pas un protocole et/ou une méthodologie uniforme mondialement acceptée (Gao, Liu, and Wang 2014). Malgré l'existence de plusieurs protocoles basés sur différentes approches et méthodologies prodiguées par le GIEC (Annexe A.04 Tableau 03).

Conclusion

À partir de la seconde moitié du XX^e siècle, la ville est accusée d'avoir produit plusieurs impacts aussi bien environnementaux que sociaux dont souffre la biosphère. En effet, la dynamique de notre monde moderne est définie par des chaînes de productions qui ne font que s'intensifier, les inégalités socio-spatiales ne font que se creuser et l'empreinte écologique ne cesse de s'élargir. En tant que tel, les menaces et les aléas sur les écosystèmes se multiplient et la richesse écologique et la résilience de ceux-ci se réduisent. Dès lors, il est primordial de repenser et rebâtir nos villes contemporaines en prenant en compte : la taille de la population, la densité de la population, la structure d'âge, les flux de son métabolisme socio-économique et sa capacité porteuse environnementale et urbaine.

Pour répondre aux problèmes qui guettent notre société, à la fois moderne et mondialisée, le développement durable est arrivé, façonné depuis 1972, comme étant une nouvelle utopie, la vague promesse d'un horizon radieux pour rééquilibrer les cycles de vie. D'autant plus, l'idéologie promue par le développement durable, ses dix-sept objectifs qui se scindent à leurs tours à 168 cibles, rime avec les nouvelles tendances de préservation de l'intégrité de la biosphère et la protection de sa capacité hospitalière qui dégringole petit-à-petit.

Les crises environnementales d'aujourd'hui, par essence planétaire ou non, se manifestent via la désolation des cycles bio-géo-chimiques et, ce qui est de grave c'est la pulvérisation de certains cycles bio-essentiels à l'échelle des villes ; par conséquent, la ville, un tant qu'un organisme vivant hyper complexe, doit réinventer sa manière d'exister et de persévérer en optimisant davantage l'intelligence urbaine, autrement dit, la capacité de portage politique.

Chapitre II : La capacité de charge environnementale dans l'ère de l'agonie planétaire, des seuils à respecter pour pouvoir exister

“La capacité de charge du monde ne peut être exprimée avec certitude... ce qui est certain, c'est qu'il y a des limites...” Blaxter, 1986, page 91.

Introduction

Suite à la croissance exponentielle de la population mondiale, plusieurs symptômes d'alerte ont été émergés et divers problèmes environnementaux ont été recensés, conséquences de la croissance urbaine. Cette situation de crise mettait l'accent sur l'épuisement des ressources naturelles ainsi que le feedback négatif des écosystèmes vis-à-vis de la population végétale, animale et humaine.

Dès lors, il paraît primordial de déterminer si nous vivons au sein ou au-delà des limites biophysiques de nos territoires (Almond, Grooten M, and Petersen 2020; Lane 2010). Car la situation actuelle dans laquelle nous vivons nous oblige à vivre en se référant à des seuils environnementaux précis. L'évaluation de la capacité de charge d'un milieu paraît alors primordiale en vue d'achever un mode de vie équitable et soutenable à long terme. Il faut savoir, par ailleurs, que l'évaluation de la capacité de charge ne vise pas seulement à déterminer le niveau d'exploitation des ressources naturelles, mais également elle reconnaît la limitation de la population.

1.1. La capacité de charge environnementale comme un remède aux maux urbains

1.1.1. La capacité de charge environnementale, une définition polysémique

La notion de la capacité de charge suppose l'existence des limites (seuils), bien que souvent difficiles à définir, elle reflète la capacité des écosystèmes naturels à supporter une croissance continue de la consommation des ressources et de la pollution. Elle vise à répondre aux deux principes de soutenabilité avancés par Daly en 1990 (Costanza and Daly 1992a; Daly 1990). Les principaux facteurs de la capacité de charge environnementale d'une région, territoire ou une ville sont : *le nombre et la densité de population, le niveau de vie et le progrès technologique.*

La Capacité de Charge Environnementale (CCE) est une notion polysémique, elle connaît diverses définitions (Tableau 3), pour cela, plusieurs termes sont employés afin de faire référence à ce concept, certains auteurs mentionnent : la *biocapacity*, *capacité porteuse*, *capacité limite*, *capacité de soutien*, *capacité de support* ou encore *capacité de résilience*.

Nous pouvons constater qu'il existe trois types de définitions de la CCE selon une visée souhaitée :

Tableau 3 : Définitions de la capacité de charge.

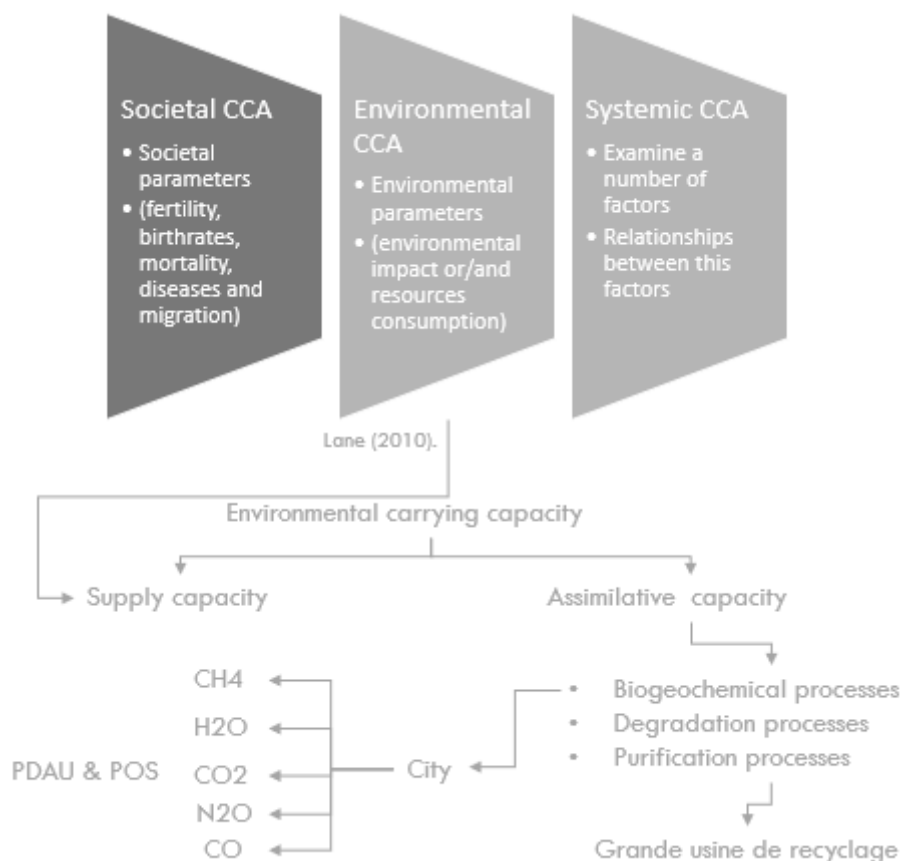
Définition	Auteur	La visée	Commentaire
La dégradation maximale que pourrait atteindre un système tout en continuant à fournir les biens et les services écologiques pour supporter le bien-être des populations humaines	(McRae, Freeman, and Marconi 2016)	Environnementale (la dégradation de l'environnement)	Cette définition ne met pas en avant les limites de la population humaine.
Concept scientifique ou bien une formule pour obtenir un nombre, au-delà duquel le développement devrait cesser.	(Lane 2010)	Développement économique et spatial	Cette définition reconnaît plusieurs seuils qui font partie des deux capacités environnementales (d'approvisionnement et d'assimilation).
Détermine le nombre maximal de populations qui pourrait être soutenu par une région, sans causer des dégradations environnementales	(Fearnside 1986)	Sociétale (Population humaine)	Dans notre recherche, nous nous sommes basés sur cette définition pour déterminer la taille de la population qui pourrait être soutenue par l'hinterland d'Alger.

Source : Auteur, 2017.

Avec l'avènement du développement durable, le concept de la Capacité de Charge prend une nouvelle allure et se charge d'une grande importance pour définir la soutenabilité socio-économique et socio-spatiale (A. Isma., 2014) (Fig.20). La définition même du développement durable reconnaît, désormais, l'existence des seuils limites ou seuils de tolérance. L'organisme du *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD) en 2016 déclare que “*the concept of sustainable development does imply **limits** – not absolute limits but limitations imposed by the present state of technology and social organization on*

environmental resources and by the ability of the biosphere to absorb the effects of human activities". Dans le contexte du développement durable, la capacité de charge des écosystèmes sera définie comme étant la limite du développement et de croissance de la population humaine afin de préserver les biens et les services écologiques (Bergeron-Verville 2013; Del Monte-Luna et al. 2004).

Figure 20 : Les différents termes de capacité de charge environnementale et leurs interactions à l'échelle urbaine.



Source : Auteur, 2017.

Il y a deux conceptions complémentaires de cette notion, la capacité de charge biologique ou biophysique et la capacité de charge sociale ou psychosociale, la première concerne l'impact humain sur l'environnement naturel et la deuxième relève l'impact de la sphère environnementale sur l'homme.

Suivant cette logique, la capacité de la terre à supporter les populations est couplé donc à l'idée d'une gestion durable et équitable des ressources naturelles dans la mesure où la façon dont les biens et les services écologiques sont exploités indiquent le niveau de population qui pourrait être supporté par la capacité régénérative de la planète Terre (Cohen 1995; Hilborn, Walters, and Ludwig 1995). Elle est aussi définie comme étant un *seuil* au-delà duquel un bien ou un service écologique commence à être dégradé et ne plus contribuer au bien-être des

populations, au-delà de ce seuil, la détérioration causée aux écosystèmes empêchera certains groupes de population et de génération à répondre à leurs besoins (Christiane 2013). En d'autres termes, la capacité de charge d'un milieu pourrait être définie comme un état stable à long terme d'une population donnée (Arrow et al. 1995).

1.1.2. Genèse de la capacité de charge environnementale

Pour la première fois, le concept est apparu dans le domaine de l'écologie au début du XIX^e siècle, cependant il a un soubassement bien plus antérieur, à travers l'étude des dynamiques des populations au XVIII^e siècle, cette notion, transposée par la suite à différents domaines, va susciter de nombreux débats sur les relations entre *économie* et *écologie*, entre *population maximale* et *ressources disponibles* et conduira à décrire la relation entre les pressions et les limites dans une perspective *d'équilibre durable*.

En 1798, l'essai de Malthus portant sur l'idée de limiter la population humaine pour permettre la survie de celle-ci, dans son fameux ouvrage intitulé *An Essay on the Principle of Population* (Malthus 1959), fut le premier livre qui constitua le berceau des débats portant sur la limitation de population. Son essai se présente comme une véritable démonstration destinée à prouver via l'élucidation de la *loi de population* que la solution à la misère et aux vies du peuple réside dans la limitation volontaire des naissances, d'où la question de la population est à replacer dans le contexte d'une Angleterre en proie à la misère due aux effets conjugués de la mutation industrielle naissante et d'une politique rurale d'enclosures massives.

En 1910, Aldo Léopold avait remarqué un point de saturation au-delà duquel la croissance des populations animales (aussi humaine) atteignait un plateau « *seuil de saturation* ». Le niveau de ce point de saturation pouvait dépendre de l'accès aux ressources. Dans ce contexte, la capacité de charge (CC) était définie comme étant la quantité d'animaux (quand on parle d'une population animale, nous parlons également de la population humaine, vu que l'homme, scientifiquement parlant, est considéré comme étant un animal) d'une espèce X qu'un habitat pouvait supporter à un temps donné.

Par la suite, cette vision a été transposée en modèle mathématique (Eq.2) par les biologistes afin d'évaluer la capacité des espèces à se multiplier, il s'agit du potentiel biotique des espèces qui peut être traduit par une équation théorique.

Équation 8

$$\left(\frac{dN}{dt}\right) = r * N$$

Cette équation indique que l'évolution du nombre d'individus au cours du temps (dN :dt) est proportionnelle au nombre d'individus déjà présents (N), le (*r*) indique le taux de croissance propre à l'espèce. Il s'agit d'un paramètre conceptualisé dans l'équation de Malthus (Cohen 1995).

Cependant, pour que l'équation mathématique soit plus représentative de la réalité, il faut aussi tenir compte des facteurs environnementaux ayant un effet sur la croissance de l'espèce (Eq.3). Ces facteurs limitatifs définissent la capacité de support du milieu (K) et sont propres à chaque espèce, le paramètre K devient le taux de croissance de la population, permettant d'obtenir l'équation suivante :

Équation 9

$$\frac{dN}{dt} = \frac{(K-N)}{K}$$

Cette équation démontre qu'avec le temps le nombre d'effectifs d'une espèce va augmenter de façon sigmoïdale, jusqu'à l'atteinte d'un plateau qui correspond à la capacité de charge du milieu dans lequel il se trouve. Plus la population se rapproche du seuil de la capacité de charge, plus le taux de croissance diminue.

En 1838, en s'inspirant des travaux de Malthus, le statisticien belge Verhulst a modélisé la croissance de la population sous forme d'une courbe suivant une loi mathématique appelée *loi logistique* représentant l'évolution de la population dans une région donnée dans le temps.

En 1922, Hadwen & Palmer ont utilisé ce concept lors des expériences sur les populations de rennes en Alaska (Pulliom et Haddad 1994). Leur expérience était de mettre en relief le lien établi entre la population animale et l'environnement dans lequel elle se trouve. En 1933, Dhondt (1988) avança que le concept connu réellement son essor dans la littérature que par Léopold en 1933, qui la définit comme étant la densité maximale qu'un territoire peut supporter (Dhondt 1988).

En 1972, le Club de Rome³⁴ publia son premier rapport *Halte à la croissance*, en utilisant un raisonnement malthusien avec quelques améliorations. Sa première ébauche a été confiée à un groupe de scientifiques du célèbre Institut technologique du Massachusetts (MIT), sous la direction du professeur Dennis Meadows. Les chercheurs tentaient d'élaborer un *modèle* hypothétique réunissant les forces complexes et interdépendantes qui affectent l'humanité et le milieu introduisant cinq variables utilisées par ce groupe du (MIT) pour constituer le modèle qui sont :

- (i) *La population*, en augmentation constante,
- (ii) La production industrielle, qui va crescendo,
- (iii) *La production agricole*, soit la possibilité d'alimenter cette même population dans l'avenir,
- (iv) L'épuisement prévisible des ressources naturelles à plus ou moins long terme, et

³⁴ Au cours de cette réunion et à l'initiative de l'économiste et industriel italien Aurelio Peccei et de l'Ecossais Alexander King, directeur scientifique de l'OCDE, le club de Rome fut fondé.

(v) La pollution.

Le rapport montre que la disponibilité des ressources naturelles et la croissance démographique ne seront pas proportionnelles, et donc les ressources ne suffiront pas pour la survie de la population dans les décennies à venir. C'est pour cela qu'il faut fixer un nombre maximum d'habitants. Malgré le fait que, selon les auteurs, ce modèle ne soit qu'à caractère indicatif, ses conclusions sont extrêmement pessimistes et impliquent l'obligation d'abandonner l'idée que le processus de croissance économique peut continuer indéfiniment sans rencontrer d'entraves. Si, comme l'indique Aurelio Peccei, les tendances actuelles se poursuivent, la croissance en proportion géométrique de la production, de la consommation, de la pollution et de l'épuisement des matières premières dans le monde nous conduira à une situation tout à fait intenable, caractérisée par la saturation humaine de la planète, l'appauvrissement du milieu, de hauts indices de toxicité de l'atmosphère et des eaux, et l'incroyable prolifération de la race humaine ne fera que l'accentuer.

Le rapport du MIT n'a pas échappé aux critiques, Gunnar Myrdal, un économiste suédois, écrit à propos du modèle du MIT, et en prenant comme exemple le problème de la natalité, il avançait « ... *en réalité les interrelations entre les modules des cinq variables sont fictives. Dans de telles conditions, l'emploi d'équation mathématique et d'un énorme ordinateur, qui enregistre les alternatives de politique conçues dans l'abstrait pour un « modèle mondial de simulation », peut impressionner un public non averti ; il avançait que « ce modèle constitue un nouvel outil pour l'humanité ne correspond malheureusement pas la réalité. À vrai dire, c'est un exemple supplémentaire de cette pseudoscience qui fait tant de bruit depuis quelques années, dans le domaine de l'économie en particulier, et qui prétend traiter les problèmes simplement en « terme écologique ».* (Discours prononcé à la Conférence des Nations Unies sur l'environnement, Stockholm 1972).

1.1.3. Les différents types de capacité de charge

Pour évaluer la capacité de charge il existe deux catégories (i) capacité de charge originale et (ii) capacité de charge actuelle, la première fait référence à la capacité d'un milieu à supporter une population ou à produire certains biens dans son état naturel, alors que la seconde fait l'évaluation de cette même capacité suite à la modification du milieu par l'homme. Suivant cette idéologie, il existe plusieurs types de capacité de charge, parmi ces types nous citons :

1.1.3.1. La capacité de charge écologique/biologique

Suivant la logique de cette discipline, la capacité porteuse est définie comme étant la capacité d'un milieu à subvenir aux besoins de la population d'une espèce animale, humaine ou végétale. Elle se calcule suivant l'équation différentielle suivante :

Équation 10

$$\frac{dN}{dt} = rK\left(\frac{K-N}{K}\right)$$

D'où :

- N : La population ;
- K : La valeur de la capacité de charge de la population, dans des conditions données ;
- r : Le taux intrinsèque de l'accroissement naturel.

En terme écologique, la capacité de charge d'un écosystème est la taille de la population ou la communauté qui peut être soutenue indéfiniment par les ressources disponibles et les services de cet écosystème. Vivre dans les limites d'un écosystème dépend de trois facteurs :

- La qualité/quantité des ressources disponibles dans l'écosystème ;
- La taille de la population ou la collectivité ;
- La quantité de ressources requise par chaque individu au sein de la collectivité.

1.1.3.2. Capacité de charge urbaine

Dans le domaine de l'urbanisme, la capacité de charge est définie comme suit : c'est la capacité d'un système naturel ou artificiel d'absorber la croissance de la population et du développement physique sans dommages ou dégradation considérables... c'est le niveau d'activités humaines, de croissance démographique, d'usage du sol et de développement physique, que peut soutenir l'environnement urbain sans causer des dégradations irréversibles (Oh et al. 2005).

Cette capacité de charge est déterminée via quatre composantes :

- *Capacité de charge environnementale* : le degré d'activité humaine que le milieu naturel et l'écosystème peuvent supporter dans une aire donnée, sans causer de dégradation grave ou dommages sur le maintien de la qualité de vie.
- *La capacité de charge des infrastructures urbaines* : le degré d'activité humaine que les infrastructures peuvent supporter dans une aire donnée, sans causer de dégradation grave ou dommages sur le maintien de la qualité de vie ;
- *La capacité de charge de perception* : le degré de changements qui peuvent apparaître avant de reconnaître que la qualité visuelle ou socio-psychologique de l'environnement est différente de celle précédemment perçue ;
- *La capacité de charge institutionnelle* : l'état d'organisation administrative et financière d'une ville pour le maintien de l'échelle optimale de développement urbain vers les objectifs publics.

1.1.3.3. Capacité de charge touristique

Au fil du temps, le tourisme a connu une véritable mutation au point qu'il devient l'un des secteurs économiques les plus puissants. De ce fait, il est indéniable que le tourisme est une industrie qui génère beaucoup de richesses, aujourd'hui, son volume d'affaires dépasse celui des industries pétrolières, agroalimentaires ou encore automobiles ; en effet, sa dynamique en fait un moteur primordial du progrès socioéconomique (Azzag 2008; Matouk 2010).

En l'occurrence, le tourisme de masse peut générer des impacts nocifs qui se manifestent via un système triptyque, comme suit :

Un fossé économique :

- Problème de surpopulations ;
- Gestions des flux, d'énergie, d'eau et de déchets ;
- L'hypertrophie du tissu et la hausse des prix du foncier ;
- Monoculture touristique : Devenir la seule source de revenus d'une destination et condamner une population en cas de catastrophe politique ou naturelle (vulnérabilité économique).

Un choc culturel et social :

- Augmentation des inégalités, due à la répartition inéquitable des bénéfices générés par le tourisme ;
- Problèmes locaux : piétinement, arrachage, graffitis, bruits ;
- Mauvaise image sur les riverains comme attraction touristique : visite des bidonvilles ;
- Augmentation des fléaux sociaux (prostitution, mendicité, criminalité) ;
- Flagellation du tissu local : confrontation brusque des populations locales à certaines activités dérangeantes liées au tourisme (musique, soirées bruyantes et durables) ;
- Folklorisations : fêtes religieuses et festivals traditionnels repris et même abandonnés par les autochtones à cause de l'influence du tourisme. (Imilchil au Maroc, Mani Rimbu au Népal, Lourdes en France...) ;
- Dénaturalisation : les touristes sont « riches », avoir la volonté d'être comme eux et la perte des valeurs et des mœurs, la naissance d'un sentiment de jalousie et de profit dans le relationnel.

Une large empreinte écologique :

- Détérioration de la biodiversité locale et du patrimoine culturel pour la construction des complexes, urbanisation sur des espaces naturels fragiles (Philippine, côte Tunisienne, Côte d'Azur, Cancún au Mexique) ;

- Concentration spatiale des infrastructures touristiques (station balnéaire, de montagne, site historique ou géographique,...) ;
- Pollution des espaces : émission des gaz à effet de serre, inflation des déchets) 20% des GES, « *Gaz à Effet de Serre* » responsables du réchauffement de la planète proviennent des déplacements touristiques : en avion, nous émettons 20 g/passager/km de GES, soit 18 g/passager/km contre 2 g/passager/km en TGV) (selon l'ADEME).
- Surconsommation d'eau au détriment de la population locale (le touriste utilise de 7 à 10 fois plus d'eau qu'un habitant local) ;
- Perturbation de la faune et flore, prélèvement ou écrasement des herbes ou espèces rares, aliénation ou capture d'animaux, bruit.

Le tourisme devrait, alors, contrebalancer entre les bienfaits socio-économiques qu'il génère avec les impacts qu'ils pèsent sur l'environnement. Pour ce faire, le concept du tourisme responsable émerge, ce type de tourisme s'inocule avec de la capacité de charge pour donner ce que nous appelons *capacité de charge touristique* définie par Chamberlien en 1997, comme étant « *le niveau d'activité humaine qu'une donnée peut supporter sans subir de détérioration, et sans que la communauté de résidents en soit négativement affectée ou que la qualité de la visite des touristes en soit affectée* ».

L'organisation mondiale du tourisme (OMT) a proposé une définition qui a également été reprise par le PNUE (1997) : « *le nombre maximum de personnes de destruction de l'environnement physique, économique et socioculturel et une diminution inacceptable de la satisfaction des visiteurs* ».

Les différentes composantes qui définissent la capacité de charge ont été répertoriées par l'Organisation Mondiale du Tourisme (OMT) et le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) :

- *Capacité de charge écologique* : basée sur des facteurs biologiques et physiques comme la capacité de certaines espèces à résister aux perturbations ;
- *La capacité socioculturelle* : qui fait référence aux impacts inacceptables sur la communauté locale ou aux limites imposées par la disponibilité des ressources humaines ;
- *La capacité psychologique* : le niveau d'affluence que les touristes perçoivent comme acceptable sans diminuer le plaisir qu'ils éprouvent. Elle varie selon le type de touriste et le type d'activité ou d'utilisation ;
- *La capacité des infrastructures* : par ex. le nombre de chambres ou la capacité des réseaux de transport ou d'approvisionnement en eau. C'est probablement l'élément le plus facile à changer à moyen ou long terme ;

- *La capacité de gestion* : le nombre de touristes qui peuvent être de façon réaliste gérés dans une région sans créer de problèmes économiques ou administratifs.

1.1.3.4. Capacité de charge résidentielle

Très répandue aux États-Unis, elle a pour objectif de quantifier les densités résidentielles ainsi que le foncier résidentiel dans les limites d'un territoire en vue de contrôler la croissance urbaine.

1.1.3.5. La capacité de charge territoriale

La capacité de charge des territoires a pour objectifs la préservation des ressources, l'équilibre paysager, la préservation de la biodiversité et de la qualité de vie. De nombreux critères entrent en jeu dans la définition de cette capacité de charge territoriale : le sol, l'air, l'eau, la biomasse, etc., ce type de capacité de charge revient à prévoir la surface agricole utile, et surtout prévoir sur le long terme le potentiel des ressources naturelles et leurs taux de régénération (Jean-Marie and Antione 2017).

Il faut reconnaître qu'au-delà d'une certaine taille, la ville ne se développe plus, elle s'étouffe. Ewa Azzag avança qu'une construction d'un modèle déterminant la taille optimale d'un ensemble urbain (Fig.21) dans un périmètre donné peut être contrôlée en fonction de la capacité de charge démographique (Berezowska-Azzag 2005).

Figure 21 : Capacité de charge démographique.

Capacité de charge démographique CCD = M - coefficient de réponse technologique de mobilisation des ressources disponibles T - coefficient de réponse technologique et d'absorptivité du territoire (capacité de recyclage, d'évacuation, d'épuration et assainissement, etc.) O - coefficient de d'organisation de la société (organisation urbaine, communication, marketing et information, protection contre les risques majeurs, etc.) C - coefficient de satisfaction des besoins (physiques, physiologiques, socio-psychosensoriels) E.B.Azzag	M x T x O x Capacité de charge environnementale CCE (input/output) C x Capacité de charge territoriale CCT
--	--

Source : Berezowska-Azzag, 2005.

1.2. Alliance entre capacité de charge environnementale et croissance urbaine, un avenir opérationnel : Stérile ou féconde ?

Il est communément admis que la ville d'aujourd'hui est appréhendée comme un organisme vivant, qui passe par un cycle de vie tout comme les autres organismes vivants (naissance, maturité, déclin). Les villes, quant à elles, fonctionnent à l'aide de la triade (i) morphologie urbaine³⁵, (ii) physiologie urbaine³⁶ et (iii) intelligence urbaine³⁷ formant un écosystème

³⁵ Structure physique d'une ville.

³⁶ Métabolisme est défini comme étant l'ensemble des processus de la transformation des substances (énergie et matière) par la ville (métabolisme socioéconomique) et les phénomènes qui s'y rattachent.

³⁷ Le portage politique et le pilotage de son développement.

urbain, son équilibre est constamment menacé par les mutations socio-économiques et socio-spatiales accompagnant son développement.

Il est clair que dans un monde mondialisé, le phénomène de croissance est en vogue. Toutefois, le fonctionnement correct de l'écosystème urbain devrait être assuré par le respect du seuil acceptable de croissance et même dans l'existence d'une taille optimale. Ewa-Azzag affirma que le phénomène de croissance urbaine obéit un cycle de vie spécifique, ce cycle conduit au stage de la maturité au-delà duquel deux solutions seulement sont envisageables (Berezowska-Azzag 2005) :

- La première c'est de faire halte à la croissance à son seuil optimal et d'assurer la dynamique interne ainsi que la reproduction par multiplication ;
- La deuxième solution est de laisser faire et même encourager la croissance in situ.

De sa part Léon Krier (Krier 1996) insista sur le postulat que le phénomène de croissance n'a pas de sens si elle tend vers une fin, car le but ultime de croissance serait alors la maturité et non la destruction de l'organisme.

On s'aperçoit alors que la notion de la capacité de charge (CC) se heurte vers des seuils limites de croissance (Hocine 2011). Dès lors, la capacité de charge des écosystèmes se traduit par le biais d'un agrégat de seuils assurant son fonctionnement correct. La notion de seuils pourrait être définie de plusieurs manières, nous citerons quelques définitions (Tableau 4) :

Tableau 4: Définitions de la notion de seuils.

Nombre	Définition	Source	Commentaire
N° 01	Un niveau d'intensité minimale d'un stimulus, au-dessous duquel une excitation n'est plus perçue (seuil d'audibilité).	(Robert 2003)	C'est une définition d'origine physiologique qui peut être appliquée à d'autres disciplines
N° 02	Le niveau d'un facteur variable dont le franchissement détermine une brusque variation des phénomènes liés à ce facteur (seuil critique).	(Robert 2003)	C'est une définition largement utilisée en physique, mathématique, économie qui se rapporte aussi aux effets de la croissance démographique en milieu urbain.

N° 03	Limite au-delà duquel commence un état différent : un seuil de vie active ; point au-delà duquel des conditions sont changées. PSYCHO, PHYSIO limite à partir de laquelle est perçue une sensation (seuil absolu) ou une variation de sensation (seuil différentiel). Seuil d'excitation, rénal (biol, méd) niveau d'excitation d'une cellule nerveuse ou musculaire) partir duquel apparaît un potentiel d'action.	(Larousse 2014)	C'est une définition d'origine physiologique et psychologique, qui pourrait se rapporter à l'étude de la capacité de charge de perception comme un seuil absolu, ou bien l'évaluation de l'impact de l'environnement sur la santé humaine comme un seuil différentiel.
N° 04	Limite au-delà de laquelle des conditions sont changées. <i>Franchir un seuil.</i>	(Larousse 1998)	C'est une définition d'origine physique qui est couramment utilisée dans le domaine de l'urbain.

Source : Auteur, 2017.

Le dépassement simultané de plusieurs types de seuils dans un périmètre urbain donné indique l'atteinte d'un régime critique de fonctionnement, au-delà duquel l'instabilité du système peut être constatée. Ewa Azzag ajoute que la « *perte de l'équilibre de l'écosystème risque de provoquer des effets de commutations avec les territoires voisins. On parlera du seuil d'instabilité et du seuil de commutation urbaine, en fonction des capacités de résilience de l'écosystème* ». Au fur et à mesure des progrès technologiques et de l'évolution de la science de l'urbain, le concept du seuil a changé (Berezowska-Azzag 2005). Une autre classification (Tableau 5) des seuils reconnaît l'existence de limites de croissance urbaine in situ :

Tableau 5: Classification des seuils de croissance selon la nature et l'échelle d'appréciation.

Type de seuil	Paramètres d'appréciation	Pondération de priorité	Echelles de communication urbaine par transfert des densités
Physiques	Topographiques, morphologiques, géologiques, géotechniques,	***	Ville/région urbaine

	géodynamiques, hydrologiques, climatiques, pédologiques, écologiques.		
Techniques	Capacité technologique de résoudre un problème d'augmentation de capacité ou de contourner un obstacle physique de se protéger contre un risque majeur, faisabilité technique.	**	Quartier/quartier Quartier/ville
Structurels	Capacité de résilience fonctionnelle, inadéquation de structure fonctionnelle, saturation fonctionnelle, capacité de gouvernance en fonction du type et d'organisation du découpage administratif.	***	Ville/région urbaine
Physiologiques	Capacité de charge foncière, capacité d'absorption, capacité d'approvisionnement.	***	Quartier/ville Ville/région urbaine Région/hinterland
Socio-psycho sensoriels	Capacité de perception sensorielle, degré du confort urbain, accessibilité, sécurité.	**	Quartier/ville
Économiques	Rentabilité, faisabilité financière.	*	Quartier/quartier Ville/région urbaine

Source : Ewa B-Azzag, 2005.

La notion de seuils peut intervenir à trois phases, à priori, pour le diagnostic de l'état actuel, au moment de l'élaboration d'un projet d'aménagement et, à posteriori, pour maîtriser la gestion des flux (énergies, informations, populations, gaz à effet de serre, etc.).

1.3. La capacité de charge environnementale entre théorie et pratique

Certes, la capacité de charge est très répandue dans la revue de la littérature scientifique, mais qu'en est-il par rapport à son caractère opérationnel, autrement dit, est-elle aussi présente dans la pratique de l'urbain, où est-elle seulement une notion théorique sans aucune portée opérationnelle ?

1.2.1. Méthodologie d'évaluation de la capacité de charge environnementale, une philosophie tripartite et un dogmatisme quantitatif

Selon la vision de (Cohen 1995:359) la capacité de charge idéale est une balance entre les *choix humains* et les *contraintes environnementales*. Considérant les contraintes du système de ressources (nourriture, eau, énergies, sols, minéraux, forestiers et fertilisants), du système biologique (biodiversité, maladie, assimilation des déchets) et du système climatique (changements climatiques, précipitation, les variations saisonnières).

Selon la revue de la littérature, il existe deux typologies de *capacité de charge*. Par exemple, Chisholm (1999-20) cita deux méthodologies (i) *comparaison par densité* (ii) *potentiel de production de nourriture*. Cependant, la catégorie proposée par Chisholm avait été élargie pour inclure la dynamique sociale telle que la population, les facteurs économiques et la tendance économique. Quant à sa deuxième typologie basée sur le potentiel de production de nourriture, elle avait été élargie pour inclure d'autres contraintes d'ordre environnementale telles que l'addition d'impacts sur les ressources et sur l'environnement.

Cohen, quant à lui, proposa une troisième méthodologie, une typologie qui combine entre les paramètres des deux approches sociétales et environnementales. Il décrit cette typologie comme étant une méthode quantitative et comparative, entre la croissance démographique et la taille avec les facteurs non démographiques tels que l'industrialisation, l'agriculture, la pollution et les ressources naturelles.

Réellement, il existe trois types de méthodologie pour évaluer la capacité de charge :

- *CCA sociétale* : elle se base sur les paramètres sociétaux pour l'élaboration des modèles d'extension de la population tels que *the United Nation Word Population Prospects 2009*, en se basant sur des facteurs sociétaux tels que la fertilité, la natalité, la mortalité, les maladies et la migration. Parmi les modèles développés dans cette optique, nous trouvons celui de Douglas Shire (Banfield, 2004) Noosa Shire en 1996 et 2001 (Summers 2004) qui tentaient de faire une projection optimale de population, selon Banfield 2000, les quatre études ont pris comme objectif d'évaluer les impacts de la croissance de la population et les pressions touristiques qu'en découlent.
- *CCA environnementale* : elle se base sur des paramètres environnementaux et la consommation des ressources et/ou l'impact environnemental pour déterminer la population limite. La méthode la plus connue est celle de *l'empreinte écologique*. Cette dernière se base sur les deux paramètres (i) consommation des ressources et (ii) l'impact environnemental. Sachant qu'il existe d'autres chercheurs qui ont développé leurs propres méthodologies en se basant beaucoup plus sur l'impact environnemental que sur la viabilité des ressources tels que Mwalyosi 1991, Graymore 2005 et McConnell 1995. Un autre groupe de chercheurs a choisi l'autre voie ; c'est-à-dire la

viabilité des ressources en prenant en compte notamment : eau, nourriture et énergie tels que Gutteridg 2006 et Fairelie 2007 du Royaume-Uni.

- *CCA systémique* : cette méthodologie examine non seulement le nombre des facteurs qui affectent la limitation de population, mais rétrocède également aux relations entre ces facteurs (Cohen 1995:111), l'un de ces modèles développés dans cette optique est le *rapport de MIT* autrement dit *halte à la croissance* en 1972, qui mettait en avant l'incompatibilité de la croissance démographique et la viabilité de ressources. Fearnside développa sa propre méthodologie qui est empruntée par Mochelle 2006, Van Den Bergh 1993 et Healdsson 2006.

2.4 Autopsie des exemples ayant fait recours à la notion des seuils limites

Plusieurs études ont intégré, d'une manière implicite ou explicite, la capacité de charge environnementale quand il s'agit de la création d'une ville ou encore sa recreation. Parmi ces exemples, nous avons choisi deux types de capacités traitées pour cette finalité, les deux premiers exemples visent à exposer comment le processus de la fabrication urbaine a pris en compte la capacité d'approvisionnement des ressources naturelles, et dans le troisième exemple, nous montrons comment Paris se redresse vers l'ère de la neutralité carbone d'ici à 2050.

1.3.1. La cité jardin d'Ebenezer Howard, un modèle pour le présent et l'avenir

L'idée de la cité-jardin est proposée par Sir Ebenezer Howard³⁸ à Londres, issue d'une idée idéaliste et purement respectueuse de l'environnement ; en effet, son idée s'épanouit en même temps avec l'émergence de l'urbanisme moderne vers les années 1930 en Chine dans le projet du grand Shanghai, élaboré par le régime nationaliste. Pendant cette période, nous remarquons la diffusion de l'idéologie et la théorie de l'urbanisme moderne dans le monde, entre autres la cité jardin d'Ebenezer Howard. Le modèle d'urbanisation (opposé au fonctionnalisme)³⁹ de cette époque-là reste majoritairement dominé par la relation complexe entre la croissance urbaine et la production agricole (Jian 2005).

Cette doctrine inspira plusieurs initiatives dans le monde (Fig.22), telles que la ville de Mont-Royal à Montréal au Canada nommée *cité-jardin vitruvienne*, sa présence date de 1912. Cette cité n'a pas trouvé son essor dans la revue de la littérature, vu qu'elle n'était pas située ni synchroniquement ni diachroniquement. Cette ville s'est voulue comme une panacée aux problèmes que Montréal avait connus durant 1901-1911 où sa population est passée de 207 730 habitants à 467 986 habitants, dû notamment à l'extension du territoire et à l'intégration de plusieurs municipalités (Corboz 2000). Autre exemple est celui de la

³⁸ Howard n'a pas inventé le terme cité-jardin puisqu'il était déjà le nom d'une banlieue créée à Long Island, New York en 1869 (Corboz, 2000).

³⁹ C'est vrai que ces deux courants ou mouvements de l'urbanisme contemporain sont opposés, mais ils partagent des traits communs comme ils illustrent l'idée anti urbaine (Allain, 2005).

cité-jardin de Villera y du domaine de Saint-Sulpice à Montréal, qui a été conçue par l'architecte-urbaniste français Jacques Gréber en 1935. Ces intentions sont exprimées dans son ouvrage *Cités-Jardins-Villes ouvrières* qui a été publié en 1920 (Ploegaerts 2001). Une autre utopie conçue par James Skill en 1949 baptisée *Victoria*, dans son ouvrage intitulé *National Evils and Practical Remedies* (Machet 2010).

Figure 22 : Planification de la Cité jardin.



Source : E. Howard, 1896.

Présentation de la cité-jardin

Le premier ouvrage qui tenta d'expliquer la doctrine des cités-jardins est celui de Raymond Unwin *Town Planning in practice* publié à Londres en 1909. Elle se veut comme une cité combinant à la fois les avantages de la campagne et de la ville et d'en éradiquer les inconvénients (Allain 2005; Tomas 1997).

Le mouvement de cité-jardin s'agissant d'une manière de faire la ville initiée en 1898 par *Sir Ebenezer Howard* au Royaume-Uni. Les villes-jardins étaient censées être des communautés planifiées et autonomes entourées de *ceintures vertes*, contenant des zones de résidences, d'industries et d'agriculture proportionnées (Hall and Ward 1998).

Howard était largement inspiré par le roman utopique *Looking Backward* et le travail de Henry George *Progress and Poverty*, Howard a publié son livre *Tomorrow : A peaceful path to Real Reform* en 1898 (qui a été réédité en 1902 en tant que *Garden Cities Of Tomorrow*) (Marmignon 2007). Sa cité jardinière idéalisée abriterait 32 000 habitants sur un site de 6 000 acres (2 400 ha), bâtie sur un plan concentrique avec des espaces ouverts, des parcs publics et six boulevards radiaux de 120 pieds (37 m) de large, s'étendant du centre. La cité-jardin serait autosuffisante et, lorsqu'elle atteindrait sa pleine population, une autre ville-jardin serait développée à proximité. Howard envisageait une grappe de plusieurs villes-jardins comme satellites d'une ville centrale de 50 000 habitants, reliées par la route et le rail.

La cité-jardin comme d'autres visions éco-urbanistiques est critiquée par de nombreux chercheurs d'avoir créé des « *gated-societies* » (Webster, Glasze, and Frantz 2002). En dépit de leur volonté d'incarner une vie basée sur la communauté, ces extensions furent synonymes de destruction du lien social. Ces nouvelles cités dortoirs accompagnées par les villes nouvelles symbolisent parfaitement l'individualisme qu'a l'esprit de communauté.

1.3.2. La cité Mozabites et l'environnement, des rapports respectés

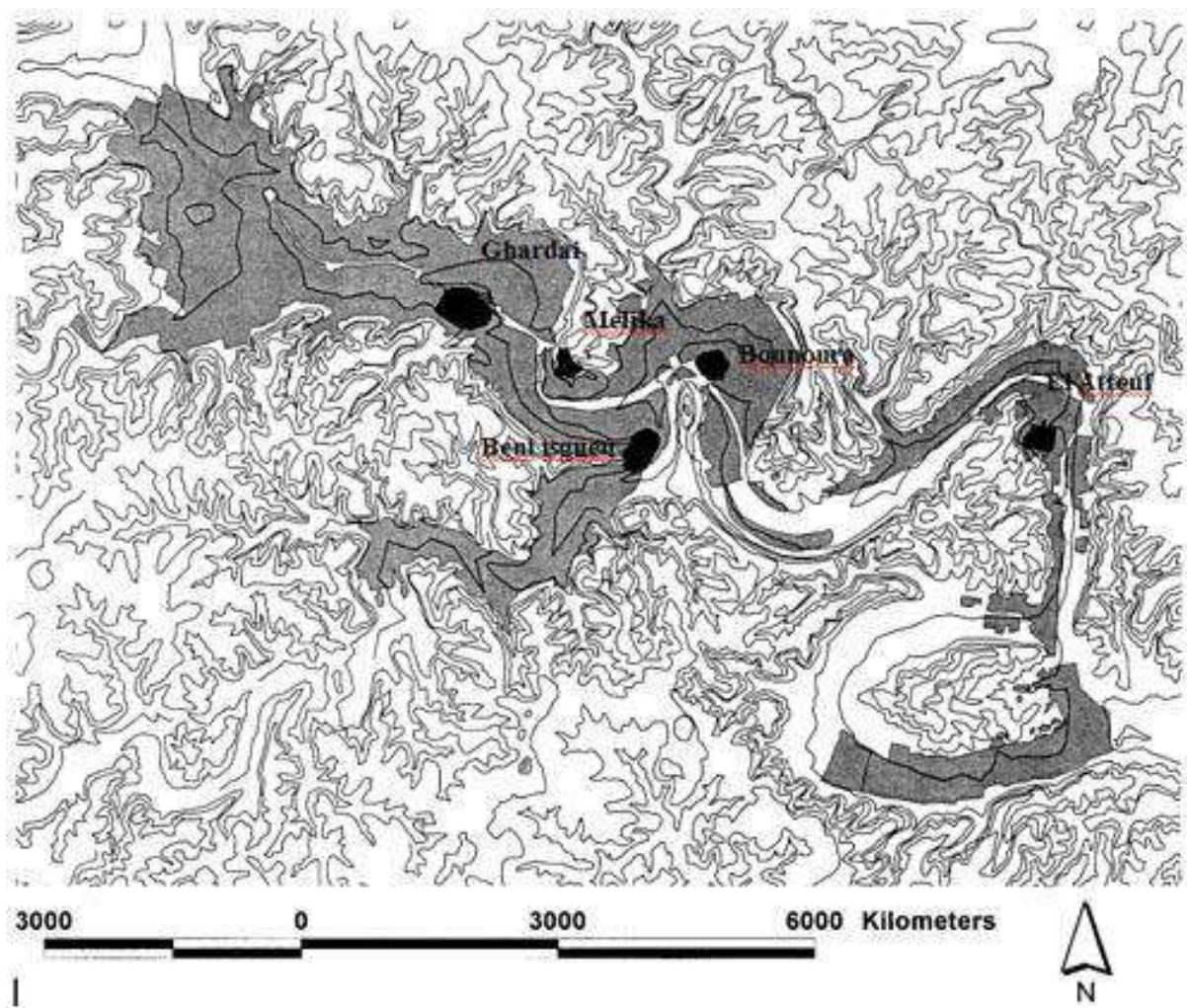
Il est important de mettre en lumière l'architecture et l'urbanisme ou plutôt le savoir-faire citoyen des Mozabites à incarner un modèle urbain en se référant à la capacité de charge environnementale du site. La vallée du M'Zab est classée comme un site historique et patrimoine mondial en 1990. À savoir que les villes arabes médiévales sont réputées par leur compacité, et elles sont riches d'expériences de régulation de la taille démographique et des densités urbaines en fonction des contraintes environnementales, sociales et économiques, étant donné qu'à chaque fois que le seuil de saturation démographique est dépassé, la gestion urbaine devient difficile à maîtriser (Atkinson 2008; Berezowska-Azzag 2005).

Situation et caractéristique géographiques

Cette merveilleuse cité se trouve à 600 km d'Alger, Ghardaïa, ou sous-préfecture du département des Oasis, chef-lieu du M'Zab, un carrefour de tous les horizons qui mènent vers le grand Sud.

La cité, le *désert dans le désert* comme appelé par Claude Pavard (Pavard 1975) se symbolise et se matérialise en *chebka* qui veut dire en arabe *filet* (Benyoucef 2010; Pavard 1975), s'agissant d'un plateau rocheux raviné par les oueds. Elle est composée d'aspects physiques notablement différents, dans la partie nord, et sur la périphérie des séries de buttes-témoins de faible hauteur à toit plat appartenant à la formation géologique du sénonien sont les vestiges du niveau primitif du sol. À contrario, à la partie sud, les étendues planes dominent, traversées par des vallées très encaissées des grands oueds : Oued M'Zab, Oued Metlili, Oued Seseb, qui coule en direction générale ouest-est (Fig.23).

Figure 23 : La topographie de la vallée du M'zab.



Source : Rim Meziani et Toshiyuki Kaneda, 2004.

La *chebka* se constitue de plusieurs aspects, physiques, géographiques et climatiques, donnant à cette région une unité paysagère à la fois différente et unique.

Composition de la chebka

Les villes du M'Zab sont composées de sept entités. L'ensemble forme un héptapole qui, à son tour, se divise en deux sous-groupes : les villes de *Guerrara* et *Berriane* et la pentapole elle-même sur le tracé de l'oued M'Zab. Nous y trouvons : El Atteuf, Bounoura, Beni Isguen, Melika, Ghardaïa. Elles se trouvent sur une équidistance de 8 km. Elles représentent le deuxième centre touristique en Algérie figurant sur tous les dépliants publicitaires des tours opérateurs.

Il est toutefois lucide de mettre en relief l'une des caractéristiques de cette *chebka*, ses bâtisseurs la construisaient avec une intelligence incroyable qui remonte à des initiatives volontaires animées par *el halga*. L'ensemble a été calculé pour protéger, abriter et renforcer la vie et la cohésion sociale via des moyens et outils simples et de proximité. Cette constellation des villes incarne parfaitement les principes de cohésion sociale et la protection de l'environnement. Elles détricotent la discrimination, la ségrégation sociale et luttent pour éradiquer la paupérisation suivant un principe humaniste vu que les maisons des chikhs sont conçues comme celles des pauvres. Il y'en a un seul dominant sur le *Skyline*, le minaret de la mosquée.

Grâce à un urbanisme intégré d'un point de vue d'orientation, implantation, occupation, des sols et la structuration de l'espace symbolisant une organisation spatiale appropriée, intégrée au site et respectueuse de l'environnement, la ville obéit à une règle traditionnelle basée sur le principe de multiplication de noyau urbain autonome suivant une vision radiocentrique (EPAU and GTZ 1997).

Maîtriser l'environnement : Maîtriser la croissance urbaine

La vallée du M'Zab se trouve dans un endroit où *il ne fait pas bon vivre* à cause des conditions environnementales ardues. Brahim Benyoucef (Benyoucef 2010) qualifia *ses caractéristiques naturelles comme étant entièrement aride et hostile (à savoir une région de forte chaleur)*. Ces caractéristiques doivent être prises en considération pour maîtriser la survie sur cette zone. Il leur fallait alors chercher de l'eau à tout prix, la présence de l'eau dans cet endroit fut l'un des facteurs de l'installation des Ibadhites dans la *chebka*. Cette vallée se fonde sur un système agroalimentaire de court-circuit constituant une économie autosuffisante, la vie locale est basée sur une théorie de vie équilibrée (Ravéreau 2003). À vrai dire, les Ibadhites n'ont pas choisi ce site seulement pour se protéger des Fatimides, mais également pour fonder leur cité-jardin (Benyoucef 2010).

La croissance de la cité est contenue à l'intérieur de l'emprise foncière à urbaniser, sur le monticule exclusivement. L'urbanisation doit s'arrêter là où doit commencer l'espace végétal à cultiver, qui s'étend au pied du monticule sur toute l'étendue de la vallée (Benyoucef 2010).

Les menaces infligeant cette idée idéaliste

On s'accorde à dire que l'homme est censé progresser et non régresser. La cité du M'Zab correspond à des cellules sociales et spatiales autonomes, homogènes fondées essentiellement sur les liens de parenté, degré de fermeture et autonomie. Néanmoins, avec la course vers la croissance, la globalisation, l'ouverture, la modernité, le tourisme, la production, la découverte des gisements de pétrole, le métissage⁴⁰ (Benyoucef 2010; Pavard 1975), ces facteurs vont entraîner une mutation socio-urbaine voire même une mutation sur le maillage idéologique de la société Mozabite et leur fera petit à petit quitter leurs mœurs, traditions, principes et valeurs. Sachant qu'à l'heure actuelle, *l'image historique du site se transforme au fur et à mesure*.

1.3.3. Paris change d'ère, vers la neutralité carbone d'ici à 2050

L'étude est réalisée, suite à la demande de la mairie afin de proposer des mesures radicales, en prévention de la future révision de son Plan Climat. La ville de Paris a commandé une étude au groupement Elioth (groupe Egis), mandataire associant les équipes de conseil d'Egis, Quattrocibi (conseil en stratégie basse carbone) et Mana (bureau d'étude et de conseil sociologique).

C'est grâce au COP21 qui s'est déroulée à Paris en 2016, que l'essence et l'esprit de ce projet ont vu le jour. Paris se contente désormais de réduire ses émissions anthropiques de -80% d'ici à 2050, qui se traduit par la métamorphose de l'aire métropolitaine de Paris vers un territoire qui s'anime par des énergies 100% renouvelables.

Selon l'association Bilan Carbone® chapeautée par l'ABC, Paris avait réduit ses émissions de carbone de 9% sur un intervalle temporel entre 2004 et 2014 (dix ans), soit l'équivalent de 25,6 millions tonnes de CO₂. Néanmoins, il s'agit désormais d'atténuer son bilan carbone de -50% en 2030 et -80% en 2050.

En effet, pour séquestrer les émissions restantes, il lui faudrait une surface boisée totale de 10 000 Km², soit quasiment la superficie de l'Ile de France, c'est pour cela que l'idée de séquestration naturelle du carbone reste le dernier élément dans le modèle stratégique qu'ils développent.

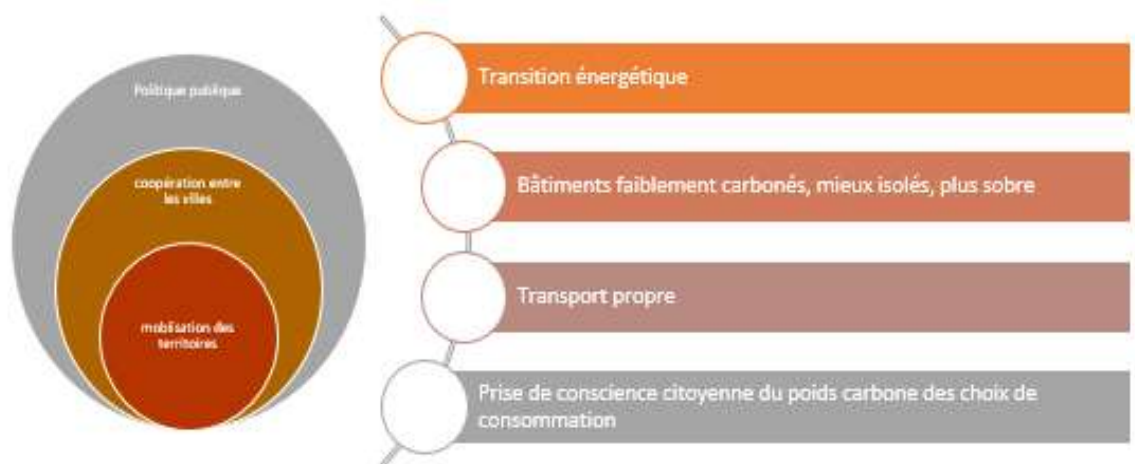
Paris, voudrait se vendre comme l'une des villes au monde les plus engagées contre les changements climatiques, affirma Célia Blauel, à savoir que cette ville est déjà dotée d'un Plan Climat-Energie en 2007, révisé en 2012. Paris se veut comme une ville, à la fois, audacieuse et ambitieuse en vue de répondre aux enjeux climatiques dans une ère post-COP21, mais ainsi de mettre un relief la volonté politique française dans une confusion des Nations quant aux engagements des pays émetteurs de gaz à effet de serre, le moment où Donald Trump, président des Etats-Unis d'Amérique, a résilié son contrat

⁴⁰ Le mariage (les filles d'aujourd'hui ne veulent plus vivre au sein d'une grande famille, on se veut plutôt plus autonomes, ce qui va altérer le fonctionnement et le comportement (tradition) des Mozabites.

climatique le 1^{er} juin 2017. L'initiative parisienne se veut comme la lumière d'espoir et le modèle pragmatique pour toutes les Nations pour s'unir comme un seul corps pour faire face aux changements climatiques surtout dans une période dite post-Kyoto.

Paris forge un nouveau cap face à l'urgence climatique via des actions tactiques qui sont montrées dans les figures ci-dessous dans la figure 24.

Figure 24 : Le trio de force de l'initiative de neutralité carbone de Paris (France).



Source : Établie par l'auteur sur la base de l'PCE, 2016.

2.5 Controverses suscitées par la capacité de charge environnementale

Il est évident que les définitions de la capacité de charge tournent autour d'un seuil au-delà duquel l'environnement sera modifié voire même détérioré, néanmoins, le terme n'a pas échappé à la critique de certains scientifiques à cause de la difficulté analytique que l'on rencontre pour identifier des seuils limites :

- La capacité de charge est un exercice compliqué qui prend du temps sans bénéfices évidents (Coccossis 2004:189) ;
- La complexité d'une approche multicritère en combinant des critères qualitatifs et quantitatifs (Duvant, 2008).

Cependant, selon Saveriades, la CC est loin d'être un simple concept scientifique ou bien une formule pour obtenir un nombre au-delà duquel le développement devrait cesser. Les limites identifiées doivent servir de guide. Elles devraient être évaluées et suivies attentivement, et complétées par d'autres normes, etc. il faut se rendre compte par ailleurs que la capacité de charge n'est pas fixe, elle se développe en fonction du temps et peut être influencée par des techniques et des contrôles de gestion, c'est pour cela que nous visons à introduire la notion de la capacité de charge carbone dans les outils de l'urbanisme local (Saveriades 2000 ; Belbacha 2011, 63).

2.6 La notion de la capacité de charge comme remède à la binarité du monde moderne (moitié urbaine, moitié industrielle)

Il y a plus de 200 ans (au début de la révolution industrielle), Thomas Malthus a écrit son Essai *Principe de la population* (Malthus 1959), dans lequel il a exposé ses préoccupations qu'une augmentation de la population et de la richesse dépasserait l'adéquation de l'environnement local pour le soutenir.

En 1971, Paul R. Ehrlich et John P. Holdren ont réalisé un travail en décomposant les forces anthropiques et le capital naturel à trois variables qui sont (i) *la population*, (ii) *l'impact* et (iii) *les technologies* (Ehrlich et Holdren 1971). Ce modèle est largement connu sous le nom IPAT (I : Impact environnemental, P : population, A : richesse, T : technologies) (Christiane, 2013).

Équation 11

$$I = (P * A * T)$$

Pour réduire l'impact sur la planète ou sur une région, il faut que le T (technologies) compense la croissance de P (population) et A (richesse).

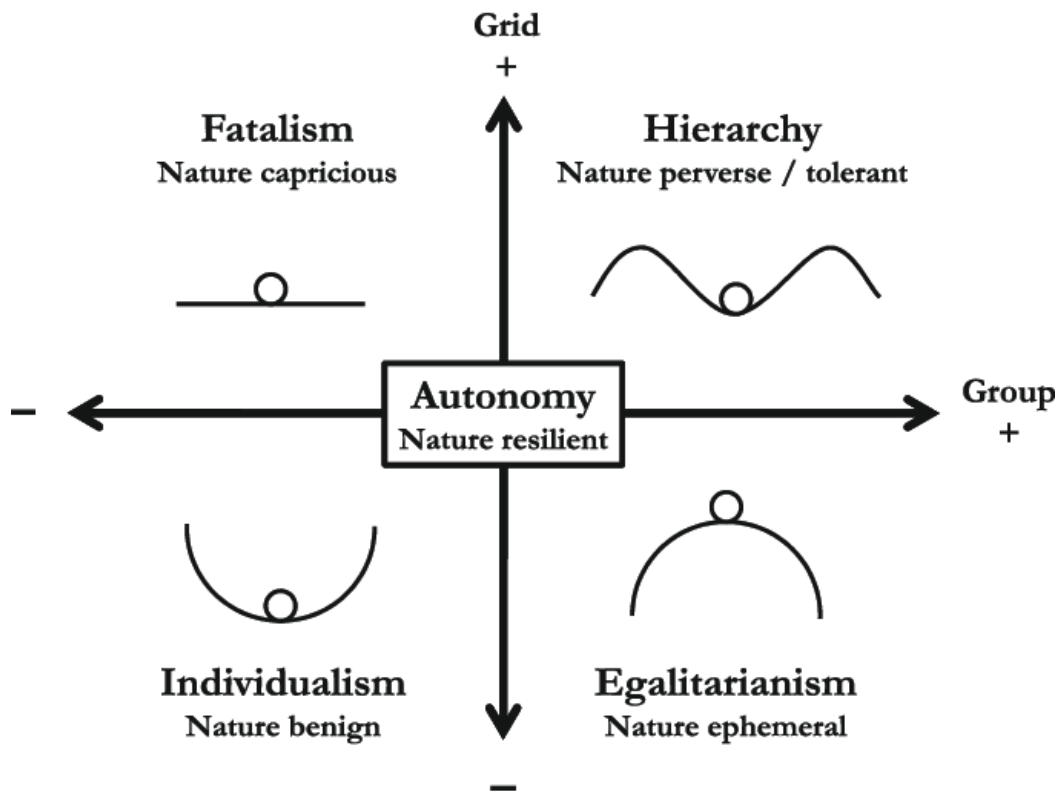
Le concept de la capacité de charge a été également appliqué afin de réaliser des projections de la taille des populations humaines. L'utilisation de ce concept sur la population humaine a pour but de savoir si la planète Terre (ou une région donnée) pourrait supporter les populations à venir en satisfaisant les besoins de tous (Cohen 1995). De sa part, l'écologiste Garrett Hardin (Hardin 1968) insista que pour assurer un développement plus équitable et soutenable, nous devons limiter la population dans les régions qui supportent cette population. Dans cette logique, une autre définition, promue par Fearnside, de la capacité de charge est celle de *déterminer le nombre maximal de populations qui pourrait être soutenu par une région, sans causer des dégradations environnementales* (Fearnside 1986).

Bien évidemment, les modèles développés de projections sont des modèles statiques et ne sont pas représentatifs de la réalité (ils intègrent un degré d'incertitude) puisqu'ils ne permettent pas de considérer les changements qui peuvent survenir dans les relations entre les variables, ou encore la taille de population pourrait être influencée par de multiples facteurs interdépendants. Dans ces circonstances, les notions de *consensus* et de *compromis* sont cruciales dans l'identification et la mise en place *des seuils*, car il s'agit d'évaluer et d'accepter les limites de changements des écosystèmes et le nombre de populations qui seront acceptables (Duvat, 2008). C'est pour cela qu'il est primordial d'être vigilant quant à la définition de ces seuils et de mener une enquête aussi approfondie pour ne pas abimer les fonctions écologiques des écosystèmes urbains étant donné que certaines actions seront irréversibles.

2.7 Notre point de vue détermine le futur

Aujourd'hui, nous sommes devant un défi colossal celui de contourner la société urbaine vers une société responsable et durable, car c'est important de se rendre compte que ce n'est pas les villes qui sont censées être durables, mais plutôt nos modes de vie. Sans cette dimension de responsabilité, la civilisation urbaine ne peut pas perdurer (Maugard and Cuisinier 2010:34). Considérons l'évidence scientifique affirmant l'hypothèse du réchauffement planétaire. Une étude très intéressante a été développée par le professeur John Adams, en développant *les quatre mythes de la nature* (Nature benign, Nature ephemeral, Nature perverse/tolerant, Nature capricious) et *les quatre mythes de la nature humaine* (Individualists, Hierarchists, Egalitarians, Fatalists), en combinant entre les deux mythes en vue d'explorer d'une manière approfondie la réponse et la réaction des individus aux risques et à l'incertitude (Adams 2002), de son part, Mark Maslin (Maslin 2004) a dérouté un peu la logique du mythe pour qu'elle soit plus applicable à la problématique du changement climatique histoire de comprendre s'il existe une partie de population qui n'a pas envie de militer contre le réchauffement planétaire. Son travail consistait à jumeler les trois variables (i) les mythes de la nature, (ii) les mythes de la nature humaine et (iii) les scénarios climatiques proposés par le GIEC (Fig.25). Son travail décèle pourquoi ceux qui ne croient pas au réchauffement climatique ne vont pas y croire jusqu'à ce qu'il soit trop tard suivant l'adage du « *The boiling frog* », parce qu'ils ont leurs propres points de vue sur la nature et qu'ils considèrent qu'il y aura un potentiel réduit de modification climatique. De leurs parts, les individus pourraient être extrêmement fluides concernant leurs croyances, particulièrement quand il s'agit du risque et de l'incertitude.

Figure 25 : Les quatres mythes de la nature et les quatres mythes de la nature humaine.



Source : Maslin, 2004.

Conclusion

La capacité hospitalière de notre planète se comprime à cause de l'élargissement de l'empreinte écologique et le bouleversement de plusieurs cycles bio-essentiels qui maintiennent la vie (dont le cycle du carbone) à cause de la croissance rapide de la population humaine et l'agrandissement de ses besoins en biens et services. Dès lors, la question de capacité de charge environnementale paraît donc essentielle à définir, parce qu'elle permet de mettre en relief le niveau d'aptitude d'un lieu de vie à soutenir le profil et la magnitude du métabolisme socio-économique.

La capacité de charge désigne le nombre d'individus qui peuvent être soutenus dans une ville donnée dans les limites des ressources naturelles et sans défigurer l'environnement social, culturel, économique et naturel des générations actuelles et futures. La capacité de charge pour une ville donnée n'est pas fixe. Elle peut être augmentée par une technologie de pointe, mais elle peut aussi être réduite par les pressions anthropiques qui accompagnent une augmentation de la population. À mesure que l'environnement se dégrade, la capacité de charge diminue, laissant l'environnement incapable de supporter le nombre de personnes qui auraient pu vivre dans la région de manière durable. Aucune population ne peut vivre au-delà de la capacité de charge de l'environnement pendant très longtemps.

Ceci dit, afin de fabriquer une ville, nous devons penser plutôt en termes de « *capacité de charge humaine* » et non en support physique.

Deuxième partie : Autopsie du métabolisme socio-économique algérois : Consistance, enjeux et perspectives

Chapitre III : Évaluation de la capacité de charge carbone d'Alger, estimer le seuil de la croissance tolérable

« Nous pouvons tendre des pièges à la morale. Nous pouvons mentir en politique. Nous pouvons nous-mêmes nous abuser avec des rêves et des mythes, mais il n'est pas possible de plaisanter avec l'acide désoxyribonucléique, la photosynthèse, l'eutrophisation, la fission nucléaire ou les conséquences qu'a sur tous les êtres vivants l'excès de radiation : il s'agit là du Soleil ou de la bombe à hydrogène » Barbara Ward, 1975, 87.

Introduction

Bien que la planète Terre eût expérimenté plusieurs bouleversements et connu, par voie de conséquence, plusieurs ères géologiques (Miocène, Pliocène, Pléistocène, Holocène jusqu'à l'Anthropocène), plusieurs symptômes caractérisent cette dernière tels que : Perturbation des cycles biogéochimiques, changement climatique, acidification des océans, contamination radioactive de l'environnement et déclin de la biodiversité.

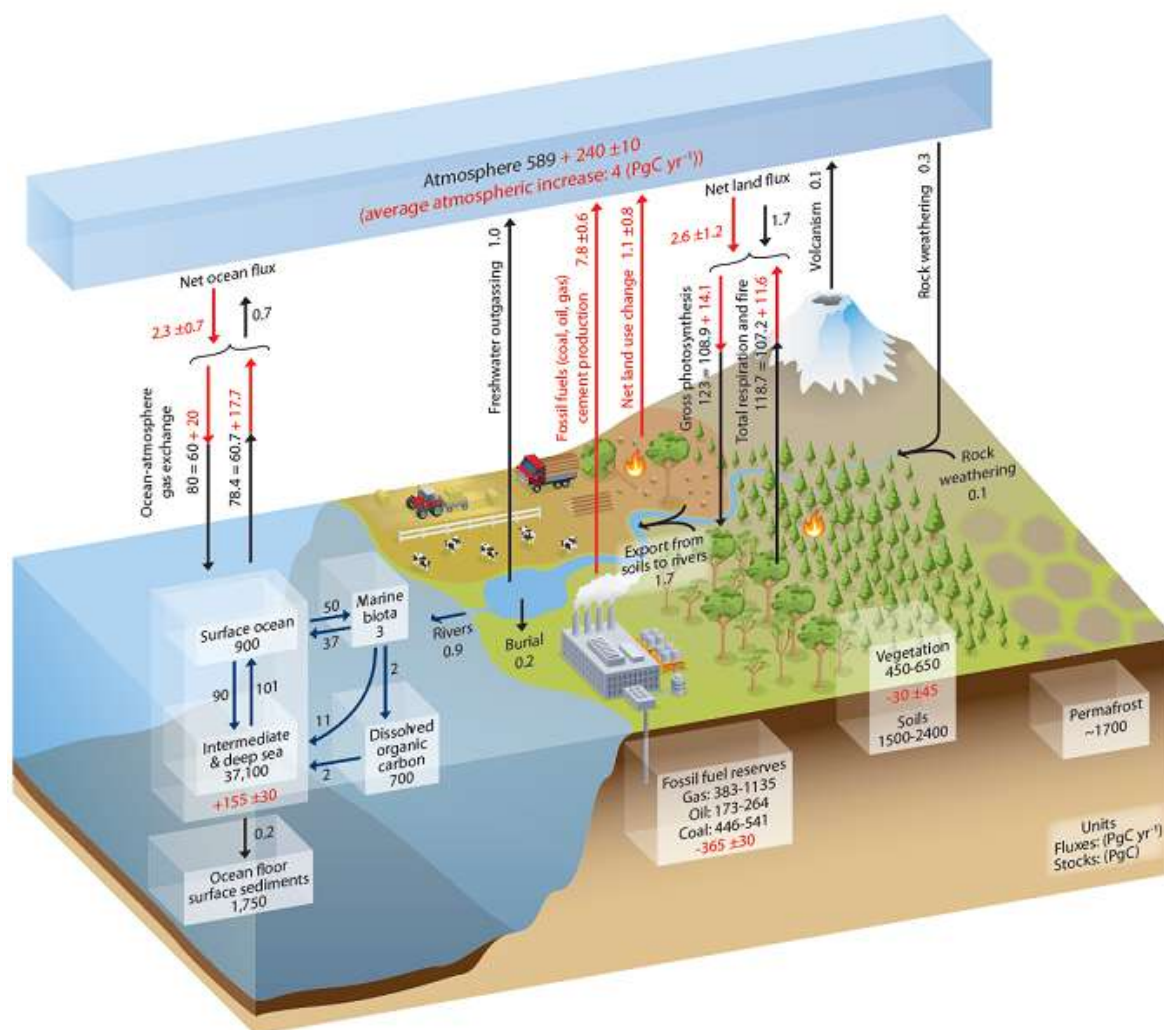
En effet, avant la Révolution industrielle le changement environnemental est introduit d'une manière naturelle et la capacité de régulation de la biosphère était maintenue. Cet état d'équilibre favorise le développement humain. Hélas, suite au développement des activités anthropiques à un niveau supérieur tout en étant accompagné par une croissance démographique rapide, plusieurs processeurs assurant l'état équilibré de la planète Terre ont été affectés. Les activités anthropiques devenaient un facteur de déséquilibre, souvent, qualifiées d'irréversibles, généralement menant à un feedback négatif sur le bien être humain, animal et végétal.

Dès lors, selon le slogan « *we can't manage, what we can not measure* », la présente partie de thèse contemple la complexité des émissions carboniques d'Alger (sachant qu'à l'échelle d'une ville, la complexité est déjà omniprésente), en mettant l'accent sur les émissions directes et indirectes. Tout d'abord, la capacité de charge carbone d'Alger fut évaluée, ensuite, la population limite d'Alger fut déterminée. Enfin, les émissions indirectes de CO₂ ont été calculées par le biais d'une analyse Extended-Environmental Output-Input Analysis (EE-IOA) pour évaluer l'empreinte des émissions indirectes par rapport aux émissions directes.

3.1 Le cycle biogéochimique du carbone, le cycle de vie

Le concept de la *vie* est fondé sur l'existence des composés à base d'atomes de carbone, de ce fait, le cycle du carbone est important pour la biocénose et le biotope, sa disponibilité fait partie des facteurs primordiaux pour le développement des êtres vivants (étant donné qu'il a une grande capacité à former de longues chaînes, généralement, appelées des anneaux moléculaires). Le cycle biogéochimique du carbone se manifeste par le biais des chaînes de transformations complexes englobant à la fois : (i) la biosphère (biomasse et nécromasse), (ii) la lithosphère (iii) l'hydrosphère et (iv) l'atmosphère.

Le cycle biogéochimique du carbone (Fig.26) est un phénomène qui se traduit par le biais d'un processus hyper complexe, ce processus est essentiel pour que la Terre soit en mesure de survivre. Il est étroitement lié aux cycles de l'azote (N), du phosphore (P), du soufre (S), de l'oxygène (O₂) et d'autres cycles et éléments bio-essentiels par lesquels l'atome du carbone est échangé le long de ces quatre réservoirs (Mackenzie, Lerman, and LM 1980). L'échange du carbone se produit à la suite de divers processus chimiques, physiques, géologiques et biologiques. Toutefois, le cycle global du carbone était qualifié de *stable* avant l'ère industrielle, le CO₂ atmosphérique a augmenté de près de 40% au cours de ces deux dernières décennies. Cette augmentation s'explique par les émissions induites à cause de la combustion des énergies fossiles, par la production du ciment, et par la déforestation massive, et l'agriculture intensive. Le cycle du carbone est étudié depuis 300 ans suivant un modèle basé sur la compréhension de la biosphère comme étant un système fermé, ce modèle est largement connu sous l'acronyme de *Terrestrial-Ocean-atmosphere-Ecosystem Model* (TOTEM) (Schuur et al. 2008).

Figure 26 : Le cycle biogéochimique du carbone dans la biosphère.

Source : Thèse de doctorat Rafael Gonçalves-Araujo, 2016.

Cependant, chaque puits de carbone contient une certaine capacité de stockage (atmosphère : ~ 720 gigatonnes ; océan : ~ 38 400 gigatonnes ; biosphère : ~ 2 000 gigatonnes). De ce fait, la capacité des puits de carbone naturel est limitée. Ceci-dit, les sociétés humaines doivent donc respecter leurs budgets carbones afin de maintenir l'intégrité de la biosphère et de réduire l'empreinte humaine. De même, les puits de carbone pourraient constituer un facteur de limitation important de la croissance démographique, en particulier dans les pays en voie de développement où les deux tiers de la croissance démographique mondiale est produite. Dès lors, le carbone pourrait être considéré comme facteur limitatif « *limitation factor* » permettant de constituer une méthode cohérente de mise en œuvre de politiques/stratégies d'adaptation et d'atténuation afin d'accroître la résilience des écosystèmes urbains (par le biais de l'augmentation des fonctions écologiques, à ne pas confondre avec les services écologiques, bien que complémentaires).

3.1.1 Les réservoirs du carbone dans la biosphère

Etant donné que le cycle du carbone dans la biosphère (un système fermé) s'échange entre quatre réservoirs, aussi dits « *carbon pool sink* », il s'avère important de disséquer chaque réservoir afin de déceler son potentiel et le processus par lequel le carbone est transformé et stocké.

2.2.1.1. La lithosphère :

Dite aussi « *la boule de pierre* », représente l'enveloppe du globe terrestre, elle est composée de deux couches successives (i) la croûte terrestre et (ii) le manteau supérieur.

La lithosphère représente le plus important réservoir. En effet, nous nous y trouvons à la quantité de $10(30)*10(15)$ gC, pour le manteau (suivant un processus de fossilisation de la matière organique, là nous sommes à l'échelle de l'année), $13\ 000\ 000*10(15)$ gC dans le Kérogène et finalement dans les carbonates qui contiennent relativement $50\ 000\ 000*10(15)$ gC.

2.2.1.2. La biosphère :

La Biosphère, dans ce contexte, ne reflète pas *la sphère de vie* (autrement dit la planète Terre), mais nous faisons plutôt référence à l'ensemble des organismes vivants et leurs milieux de vie, autrement dit, la totalité de l'écosystème en question. Généralement, elle est composée de deux variables (i) la biomasse : qui désigne la masse totale des organismes dans le biotope, et (ii) la nécromasse : qui désigne la matière organique morte présente dans les écosystèmes aussi bien animale que végétale. La biosphère dans ce contexte englobe aussi bien les forêts, les tourbières, les sols et les prairies qui jouent un rôle fondamental en matière de puits carbone.

Le sol permettrait de piéger le carbone et l'azote, les scientifiques estiment une capacité de stockage de $1500*(15)$. Autrement dit, altérer la roche piège le carbone atmosphérique.

2.2.1.3. L'hydrosphère :

Le terme reflète les zones du globe terrestre où l'eau est présente. Ce réservoir concerne les trois états physiques de l'eau ; liquide (mers, fleuves, océans, lacs, etc.) Solide (glaciers, neige éternelle, banquise).

Les scientifiques estiment qu'il détient une capacité de $36\ 000*10(15)$ gC, le carbone dans l'eau se trouve sous forme d'hydrogénocarbonates (HCO_3^-) via le processus de précipitation du CaCO_3 .

2.2.1.4. L'atmosphère :

L'atmosphère désigne la couche des gaz enveloppant la Terre, généralement appelée air (ou le vide, bien qu'elle ne soit pas un vide), elle est composée de 78 % de diazote, 21 % de dioxygène, 0.93 % d'argon et 0.04 % de dioxyde de carbone.

L'atmosphère stocke relativement 720×10^{15} gC. Il est important de souligner qu'il ne faut pas penser qu'il y a beaucoup de dioxyde de carbone dans l'atmosphère.

3.2 Evaluation de la Capacité de Charge Carbone (C^3) : Quelle taille de population pourrait être soutenue par l'écosystème Algérois ?

Les signatures anthropiques étant largement observables à travers le monde (changement climatique, perte de biodiversité et rareté des ressources), les questions de surpopulation et de surconsommation ont posé un défi à tous les scientifiques et confronté de nombreuses disciplines, notamment l'architecture et l'urbanisme. Depuis les années 1960, les villes ont connu une croissance spectaculaire. Toutefois, il convient de souligner que la grande majorité de cette croissance démographique s'anime dans les pays en développement. Ainsi, dans un monde globalisé, la forte croissance pourrait être un indicateur de succès, mais les villes du monde en développement, en particulier les villes africaines, connaissent actuellement une croissance rapide, dépassant la capacité de l'environnement (naturel et urbain) à fournir des services adéquats. En outre, les impacts globaux - tels que le réchauffement planétaire - d'une consommation croissante d'énergies fossiles et la surpopulation, combinés à un déclin des actifs écologiques mettent en évidence le besoin urgent de soumettre des mesures de limitation de la population urbaine.

L'étude actuelle a pour objectif de déterminer les moyens théoriques de réduire les émissions de CO_2 d'Alger en calculant le potentiel de puits de carbone (terres forestières, zones humides, sols et technologies) et les émissions de carbone par habitant, en tenant compte des émissions directes du territoire dans les limites de la wilaya d'Alger. Cette étude montre que la part des déchets dans le métabolisme social d'Alger dépasse le potentiel de puits de carbone. Cela dit, les citoyens d'Alger ne vivent pas en harmonie avec leur environnement. Pour vivre dans le cadre du budget carbone, les décideurs politiques et les autorités locales doivent rechercher trois voies principales : (i) limiter la population d'Alger à 1 268 963 habitants - soit 1/3 de la population actuelle d'Alger - si la trajectoire actuelle en termes de mode de substance énergétique est maintenue ou (ii) augmenter la superficie des actifs écologiques d'Alger à 36 709 ha, ou (iii) introduire et généraliser l'énergie décarbonisée pour les secteurs résidentiels et des transports qui représentent respectivement 25% et 51% des émissions totales de CO_2 d'Alger.

3.2.1 Contextualisation de la capacité de charge humaine urbaine

Au sein de l'Anthropocène, l'Homme représente le principal moteur de la transformation des cycles de notre biosphère à des vitesses et à des échelles sans précédent pour aucune autre espèce ni catastrophe naturelle (Ehrlich and Holdren 1971; E. C. Ellis 2017; Lewis and Maslin 2015; Steffen 2004). Dans notre monde moderne, la biodiversité, la sécurité de l'environnement et les atouts écologiques diminuent (Pincetl 2017; Redmore et al. 2018;

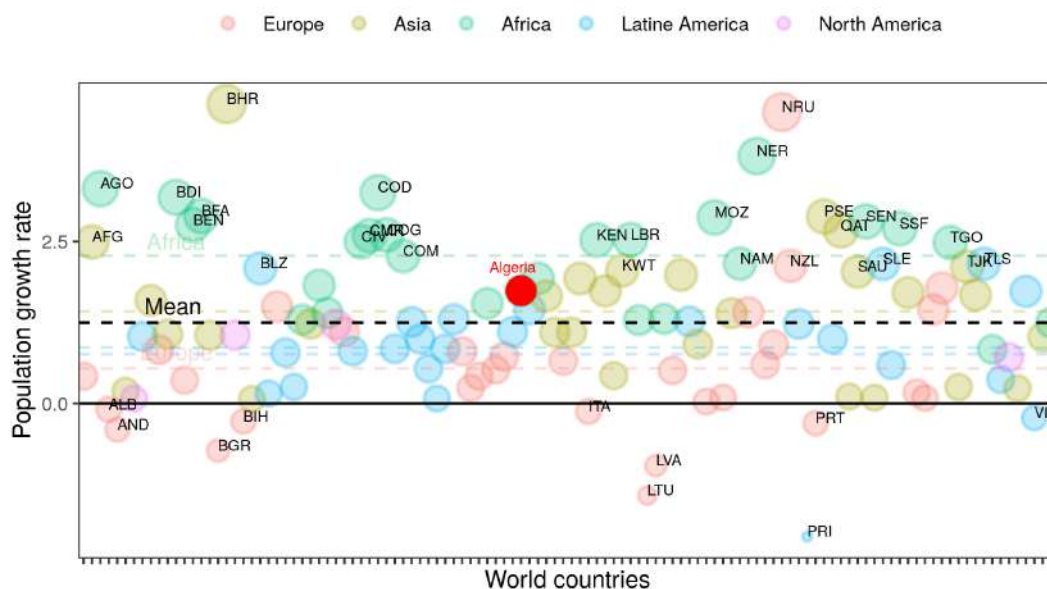
Zalasiewicz et al. 2015), en contrepartie, l'activité économique, le niveau d'urbanisation et la taille de la population augmentent (Creutzig et al. 2015a). Cette tendance reflète - sans aucune controverse scientifique - le degré auquel nos comportements et nos modes de vie moderne provoquent de grands changements d'essence planétaires (Fox, Pope, and Ellis 2017). Cependant, pour comprendre les problèmes contemporains de l'environnement et même pour parvenir à un « *développement urbain durable* », l'humanité doit repenser les interactions Société-Nature (Fischer-Kowalski and Weisz 1999). Ce changement devrait être mis en œuvre en conséquence des pressions nombreuses et variées et des perturbations causées par l'humanité sur la biosphère. Selon le Global Footprint Network, il faudrait 1,7 planète pour soutenir le métabolisme socio-économique du monde actuel, mais il n'y a qu'une seule Terre sur laquelle l'humanité est invitée à s'épanouir dans ses limites (Max-Neef 1995; Niccolucci et al. 2012; Rockström et al. 2009). Parce que Garrett a déjà illustré dans la fin des années 1960 que s'évader de la planète Terre vers une autre planète n'est pas scientifiquement faisable dans le futur proche.

Les villes ont toujours été un centre de croissance économique, de l'enseignement supérieur, de l'emploi, des laboratoires de technologie et d'innovation, point cumulant des aménités urbaines, un style de vie avancé, un niveau d'achat élevé et un point chaud de la consommation d'énergie. En tant que telles, les villes sont étroitement liées aux phénomènes de réchauffement climatique. En fait, même si les zones urbaines occupent près de 3% de la surface terrestre de la planète (Athanassiadis, Crawford, and Bouillard 2015; Balk et al. 2005), elles comptent plus de la moitié de la population mondiale. De même, les sociétés urbaines sont la principale source de production économique, de consommation et de production de déchets (Loh et al. 2004; Świąder et al. 2018). Elles sont responsables de consommer deux tiers de l'énergie produite/extraite dans le monde (Ash et al. , 2008; Terrain., 2004) et 80% des émissions de GES (Kalmykova, Rosado, and Patrício 2015; Sovacool and Brown 2010), dont 70% sont du dioxyde de carbone (CO₂) (GIEC 2015b; Lombardi et al. 2017a). Malgré les critiques, les villes offrent des opportunités de renouvellement, de réaménagement et de reconstruction en agissant simultanément sur plusieurs secteurs connus sous le nom de multiplicateurs de durabilité, car à l'échelle de la ville, nous pouvons gérer les densités, les flux énergétiques et les flux de matières premières peuvent être contrôlés, où la taille de la population peut être surveillée, et les modes de transport peuvent être substitués (Wackermann 2008). En conséquence, les villes deviennent des artefacts positifs.

De nos jours, la détérioration de l'environnement est très attendue dans un avenir proche en raison de la croissance démographique, en particulier dans les zones urbaines. En fait, la taille de la population humaine a augmenté de manière exponentielle depuis le XX^e siècle, passant d'environ 6 milliards en 1999 à 7,6 milliards en 2018. Toutefois, il est important de souligner que la grande majorité de cette croissance est enregistrée dans les pays en développement (Cohen 2006), en tant que telles, les villes des pays en développement connaissent les taux de

croissance démographique les plus élevés au monde (Fig.27). Dans ce contexte, les villes ayant un taux de croissance démographique le plus élevé accompagné par un PIB par habitant faible, leur environnement urbain serait, à fortiori, un foyer de criminalité, d'impasse, d'étalement et de délabrement urbain, de prolifération des taudis, de problèmes de santé et de multiplication des maladies, d'inégalités spatiales, de pollution et de stagnation économique (Hall 2014).

Figure 27 : Taux de croissance démographique du monde par pays.



Source : Auteur, 2019.

Désormais, la limitation de la population dans les pays en développement - en particulier pour les villes africaines - est donc pertinente pour accroître l'efficacité des fonctions des villes. En tant que tel, le phénomène de croissance démographique est un indicateur d'échec et un impératif primordial dans les villes du monde en développement, en particulier dans celles qui comptent un grand nombre de personnes pauvres et démunies (Munasinghe 1995) qui doivent être surveillées et les modèles de développement urbain actuels doivent être modernisés.

3.2.2 Genèse de la capacité de charge humaine

Le concept de capacité de charge a connu de nombreuses révolutions depuis la fin des années 1680. Le concept suppose des seuils existants dans la biosphère, il reflète la capacité des écosystèmes naturels à maintenir un nombre déterminé de populations humaines/animales pouvant être soutenues par une région déterminée sans causer de dégradation de l'environnement (Fearnside 1986). L'objectif du cadre de capacité de charge est de quantifier les deux principes de durabilité définis par Daly (Costanza and Daly 1992a; Daly 1990), à savoir (i) «la consommation de ressources naturelles par l'homme ne devrait pas dépasser le

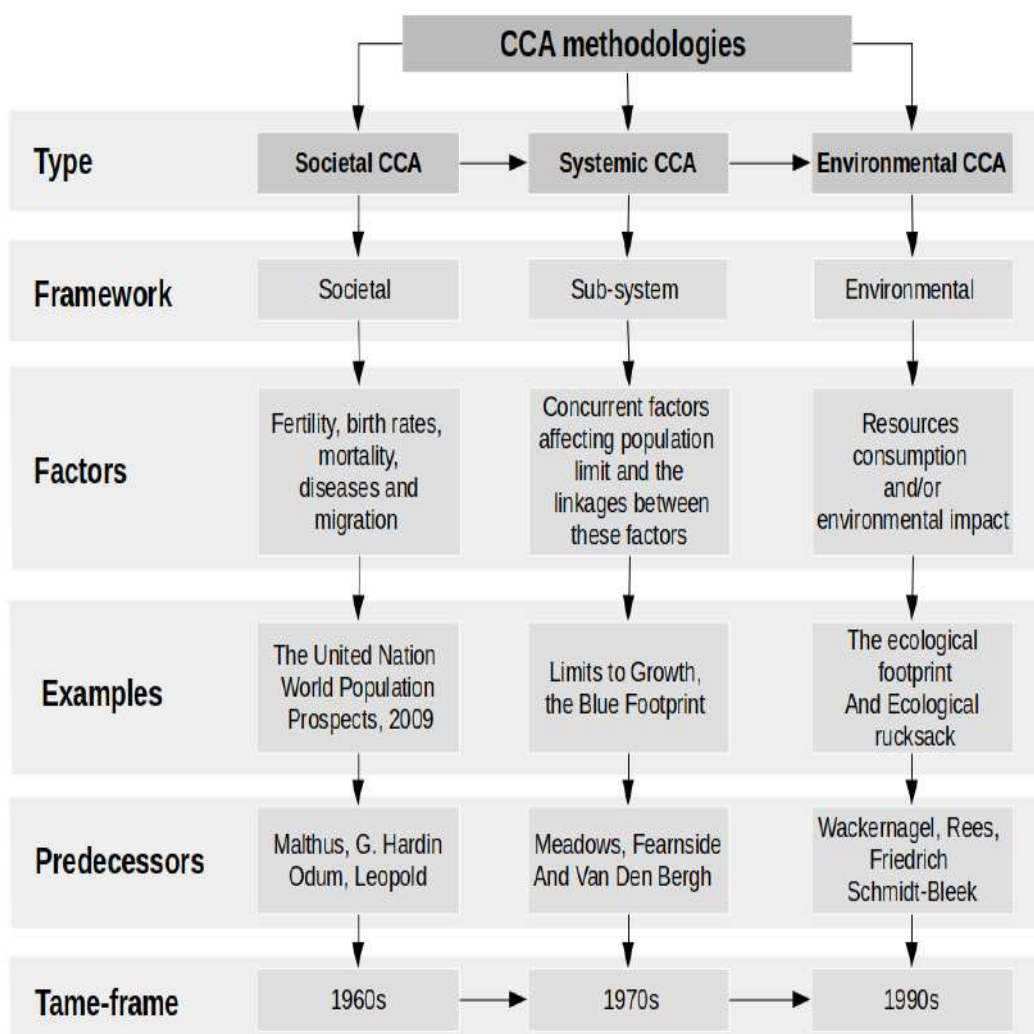
potentiel de régénération de la Terre». Et (ii) « *les émissions de déchets ne doivent pas dépasser la capacité d'assimilation naturelle* ». L'évaluation de la capacité de charge est devenue aujourd'hui l'un des processus clés permettant de définir le développement socio-économique et socio-spatial. Cependant, la capacité de charge n'est pas une relation de cause à effet fixe, statique ou simple, mais une valeur élastique, déterminée principalement par quatre facteurs principaux : (i) la taille de la population, (ii) la géographie (iii) la technologie, et (iv) la consommation par habitant. Le concept est très proche d'autres termes tels que : seuils, limites de tolérance, capacité de mémoire tampon et perte de résilience.

L'histoire de la “*capacité de charge*” est très riche (Fig.28). Elle commence dans le domaine de l'écologie afin d'étudier la population végétale et animale, dans laquelle le terme est défini comme “*Number of individuals in a population that the resources of a habitat can support ; the asymptote, or plateau, of the logistic and other sigmoid equations for population growth*”(Cohen 1995). Après la reconnaissance mondiale du concept, il a donc été transposé à la population humaine, dans laquelle les scientifiques testent un ensemble de facteurs afin de déterminer la taille de la population humaine (nourriture, eau, pollution, etc.). Néanmoins, après avoir transposé le terme d'écologie aux sociétés humaines, il est devenu plus volatile et il est constitué principalement de facteurs démographiques (naissances, décès, structure par âge, migration, mariage). Ce terme a connu une grande notoriété et a été utilisé à maintes reprises pour évaluer la limite de population mondiale. La première utilisation du concept remonte à 1679, le 25 avril en Hollande, l'inventeur du microscope Antoni Van Leeuwenhock décrivit ce qui pourrait être la première estimation du nombre maximal de personnes que la terre pourrait supporter. Selon l'auteur, elle pourrait supporter près de 13,4 milliards de personnes avec une densité de 120 personnes tous les 1 km². Plus tard, en 1695, le roi Grégoire déclara que la Terre, si elle était pleinement peuplée, permettrait de faire vivre au moins 12,5 milliards de personnes. Après un siècle, en 1765, Johann Peter Süsnilch compara sa propre découverte (13,9 milliards) à celle de Van Leeuwenhock, et Sébastien le Prestre de Vauban (5,5 milliards) et Thomas Templewan (11,5 milliards). Ces trois études sur la “*capacité de charge humaine* » ont été les premières recherches ayant jalonné la reconnaissance mondiale de ce terme.

Cependant, de nombreux auteurs déclarent que les premières utilisations du concept dans la population à caractère humain ont été introduites par Malthus en 1798 (Malthus 1959:196) dans son « *An essay Of the Principal of Population* ». Dans laquelle Malthus affirme que la population mondiale connaît une croissance géométrique, tandis que les ressources naturelles connaissent une croissance linéaire. En tant que telles, elles ne seront pas suffisantes à l'avenir pour la survie de l'homme. Après presque 200 ans, le terme a connu une forte notoriété. En 1966, Buildings soutient que le genre humain actuel ne peut aspirer à une croissance controversée sur une planète finie. Cette idée a également été défendue jusqu'à la fin des années 1980 par Garrett Hardin qui (à la fin des années 1960) (Hardin 1968) insiste sur la

même idée dans sa « *tragedy of the commons* ». Plus tard, la publication du manuel d'Odum intitulé « *Fundamentals of Ecology* » (Odum 1959) dans laquelle l'auteur utilisa le terme en référence à la population de colins de Virginie, l'auteur a défini le terme comme “*the upper bound beyond which no major increase can accrue*” (Odum et al., 1971). Au début des années 1970, en particulier en 1971, l'équation néo-Malthus a été introduite dans la littérature scientifique connue sous le nom d'IPAT (I: impact humain, P: population, A: richesse par habitant et T: technologies), IPAT montre l'impact de l'humanité vis-à-vis des systèmes vitaux de la Terre, étant donné que l'humanité menace de modifier radicalement le système climatique (Ehrlich 1994; Ehrlich and Holdren 1971; Ehrlich, Holm, and Richard 1971). Après un an, le rapport du MIT “*Limits to Growth*”, dans lequel un modèle hypothétique a été développé, rassemble les forces complexes et interdépendantes affectant l'humanité en introduisant cinq variables. Après 18 ans, Aldo Leopold a réintroduit le terme de « *capacité de charge humaine* », en 1987, dans son manuel « *Game Management* » (Leopold 1987), dans lequel Léopold affirme qu'il existe une nuance entre *le niveau de saturation* et *la capacité de charge*. Après un an, Dhondt (Dhondt 1988) soutient que la capacité de charge humaine pourrait être attribuée à Hadnen et Plame (1992). Malgré la confusion sémantique et l'utilisation chronologique du terme, il est largement reconnu, selon la littérature récente, que le terme a été introduit dans la littérature scientifique par Aldo Leopold en 1933.

L'évolution du terme « *capacité de charge humaine* » peut être abordée selon trois grandes approches scientifiques qui contribuent à la reconnaissance du terme: (i) les inventaires basés sur les services écologiques (c'est-à-dire préconiser des limites démographiques en fonction de la capacité porteuse environnementale, par exemple de: Malthus en 1798, Meadows et al., 1972, EFA) (ii) les lois de la thermodynamique (Georgescu-Roegen 1975, 1993, 2018) et (iii) le cadre des limites planétaires (Rockström et al. 2009; Steffen et al. 2015). Sachant qu'au cours de ces années, la capacité de charge a été appliquée, en général, pour estimer l'importance d'une population pouvant être supportée par la planète à long terme. Cependant, il est important de souligner que les trois facteurs qui affectent la capacité de charge et que toutes les publications antérieures ont approuvée sont : (i) les conditions environnementales extrinsèques, (ii) le calendrier spécifique et (iii) l'innovation humaine.

Figure 28 : Méthodologies adoptées pour évaluer la capacité de charge de l'environnement.

Source : Auteur, 2019.

Compte tenu de la complexité de l'évaluation de la capacité de charge, de nombreux scientifiques proposent une multitude de méthodologies différentes pouvant être appliquées dans une zone allant de petite à grande échelle (Fig.28). Cependant, il est important de souligner que, dans les recherches précédentes, la définition des limites de population reposait principalement sur la capacité de l'environnement à régénérer ses ressources (capacité d'approvisionnement). Néanmoins, pendant toutes ces années, la capacité d'assimilation de l'environnement a été ignorée (et toujours considérée comme un bien commun) jusqu'à ce que plusieurs crises environnementales interdépendantes modernes soient devenues omniprésentes, telles que : le changement climatique, la pollution par les plastiques, la rareté de l'eau douce, des actions internationales, multilatérales et bilatérales sont promises pour minimiser l'empreinte de l'homo sapiens sur la biosphère.

3.2.3 La Capacité de Charge Carbone, l'atome du carbone dans la biosphère

Le cycle du carbone biogéochimique est un phénomène multi-processus essentiel pour que la Terre soit en mesure d'enlancer **la vie**, il est étroitement lié aux cycles de l'azote (N), du Phosphore (P), du Soufre (S), de l'Oxygène (O₂) et d'autres éléments bio-essentiels par lesquels l'atome de carbone est échangé le long de la biomasse, de la pédosphère, de l'hydrosphère et de l'atmosphère (Mackenzie et al. 1980). L'échange de carbone résulte de divers processus chimiques, physiques, géologiques et biologiques. Cependant, chaque puits de carbone contient une certaine capacité de stockage (atmosphère : ~ 720 gigatonnes ; océan : ~ 38 400 gigatonnes ; biosphère : ~ 2 000 gigatonnes). En tant que telle, la capacité en puits de carbone naturel est limitée et, par conséquent, les sociétés modernes doivent respecter le budget alloué au seuil de puits de carbone environnementaux afin de maintenir l'intégrité de la biosphère et de minimiser l'empreinte carbone. De même, les puits de carbone pourraient constituer un facteur de limitation important de la croissance démographique, en particulier dans les pays en développement où deux tiers de la croissance de la population a lieu, C⁴ pourraient constituer une méthode cohérente de mise en œuvre de politiques/stratégies d'adaptation et d'atténuation afin d'accroître la résistance des écosystèmes urbains.

Dans ce contexte, la C³ est une méthodologie d'évaluation de la capacité de charge basée sur l'environnement qui vise à comparer deux processus clés du deuxième paramètre du *développement durable* en déterminant combien de personnes pourraient être soutenues par une ville (c'est-à-dire une ville et sa région / hinterland). Par conséquent, la capacité de charge du carbone est un indicateur composite qui compare la capacité du potentiel de puits de carbone naturel et technologique et les émissions de carbone de la ville, en tenant compte des émissions territoriales provenant de la consommation locale dans les limites de la ville. De même, il peut permettre une collaboration plus efficace entre les villes afin de réduire les émissions de carbone, de restaurer les actifs écologiques et de surveiller la croissance urbaine.

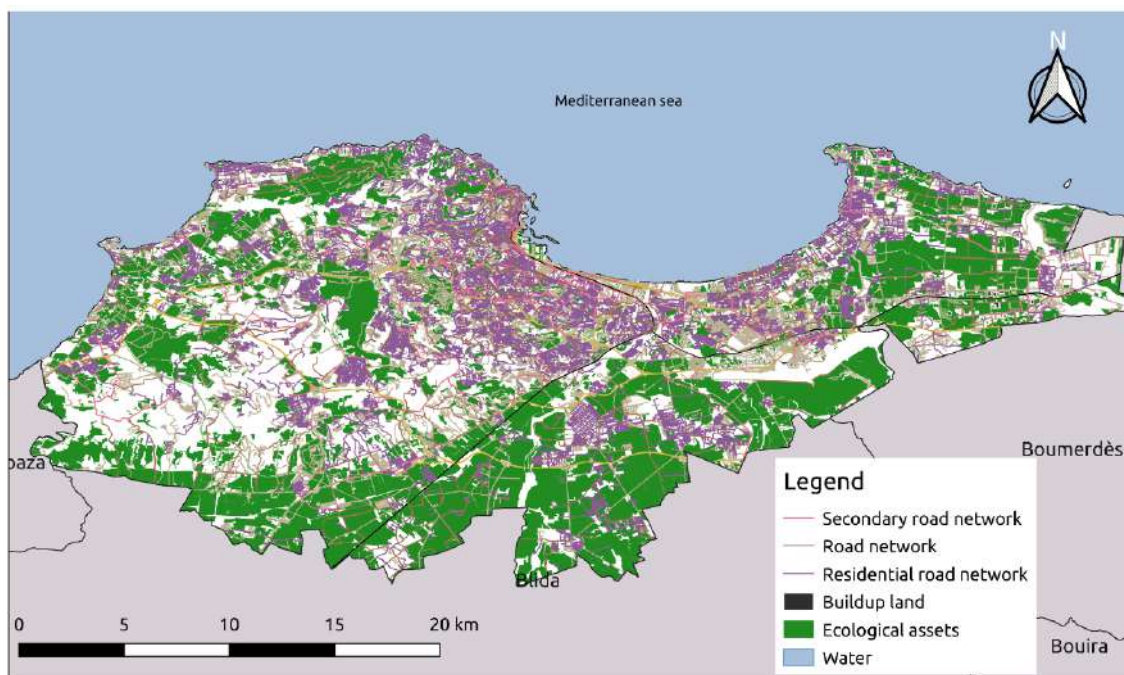
Notez que l'approche C⁴ est plus raffinée que celle de l'empreinte carbone proposée par Wackernagel et Rees en 1996 (Wackernagel and Beyers 2019; Wackernagel and Rees 1998a) et récemment affinée par (Mancini et al. 2016a). Étant donné que l'empreinte carbone considère uniquement les terres forestières comme le seul puits de carbone, l'empreinte carbone ne parvient pas à intégrer l'ensemble du cycle du carbone et son processus dynamique dans la biosphère. Il est important de souligner que le C³ ne peut pas uniquement analyser les besoins en métabolisme de la ville, mais peut également constituer un outil décisionnel pour la planification future relative aux modes d'utilisation des sols, compte tenu du fait que les limites proposées par le C⁴ ne sont pas des objectifs, l'objectif n'est pas de les atteindre, mais ils agissent comme une limite supérieure à ne pas dépasser.

3.2.4 Méthode et matériaux

Source des données pour évaluer la capacité de stockage du carbone

Selon le cycle biogéochimique du carbone dans la biosphère. Le carbone s'échange entre quatre éléments (biosphère, lithosphère, hydrosphère et atmosphère). Ceci dit, chaque puits de carbone (Fig.29) possède une capacité déterminée de stockage en fonction des zones biologiques et climatiques, du type de sol et de la température. Afin de calculer le stock de carbone dans le sol (terres forestières, terres cultivées et prairies) et la séquestration des terres forestières par biais de la photosynthèse, les données ont été tirées du GIEC (GIEC, 2006). Notez que l'étude actuelle utilise l'approche Tiers 1, qualifiée comme étant la méthode la plus simple à utiliser, pour laquelle des valeurs de paramètre par défaut sont fournies (par le GIEC, 2006). En contrepartie, les approches Tiers 2-3 requièrent des données spécifiques à un pays ou à une région pour plusieurs années -qui ne sont pas disponibles en Algérie-. Toutefois, les approches Tiers 2-3 améliorent la précision de l'inventaire et réduisent les incertitudes ; en revanche, la complexité et les ressources nécessaires à la réalisation de tels inventaires augmentent également.

Figure 29 : Carte des actifs écologiques d'Alger.



Source : Auteur, 2019.

Source des données pour évaluer les émissions territoriales

L'approche territoriale a été utilisée afin de calculer les émissions anthropiques d'Alger, cette approche calcule les émissions directes émises par les citoyens d'une ville donnée. Elle prend en compte les émissions directes de tous les acteurs socio-économiques (exploitations

agricoles, ménages, institutions, équipements urbains) dans les limites de la ville. Ces types d'émissions sont classés dans le Scope 1 (Émissions directes : émissions provenant de la combustion, des déchets et des processus industriels), utilisation des produits : agriculture, sylviculture et autres utilisations des terres dans les limites de la ville (à l'intérieur de la ville, territoriale, géographiques) et Scope 2 (émissions indirectes liées à l'énergie : émissions résultant de l'utilisation de l'électricité achetée : chaleur, flux et/ou refroidissement dans la limite de la ville –à travers et au travers de la ville-). Afin de calculer cette émission d'Alger, les données ont été collectées auprès de : APRUE, Sonelgaz et NACC.

3.2.5 Méthode

Pour déterminer la C^3 d'Alger, tout d'abord, nous avons calculé la capacité des puits carbone en utilisant l'approche Tiers 1 proposée dans le cadre du GIEC, section (2.2.1). Ensuite, nous avons calculé les émissions de carbone par personne en utilisant l'approche territoriale telle que mentionnée dans la section (2.2.2).

Method for calculating Algiers' carbon sink potential

Dans cette étude, la capacité de charge carbone est calculée comme (Eq 6) :

Équation 12

$$C^4 = \sum (C_{Photosynthesis} + C_{Soil} + C_{Océan} + C_{technology})$$

D'où :

C_{ph} : La fraction du carbone séquestrée par la biomasse et la nécromasse par le biais de la photosynthèse, cette quantité est évaluée tel que mentionné dans (GIEC, 2006) volume 4 chapitres 4,5,6 (voir l'annexe).

C_{Soil} : La fraction du carbone emprisonnée dans le sol (terres cultivées et terres de pâturage) à travers la respiration du sol, cette fraction est calculée tel que mentionné dans (GIEC, 2006) volume 4 (voir l'annexe).

C_{Ocean} : La fraction du carbone absorbée par l'océan selon (Khatriwala et al. 2009) l'océan absorbe 28% des émissions carboniques totales.

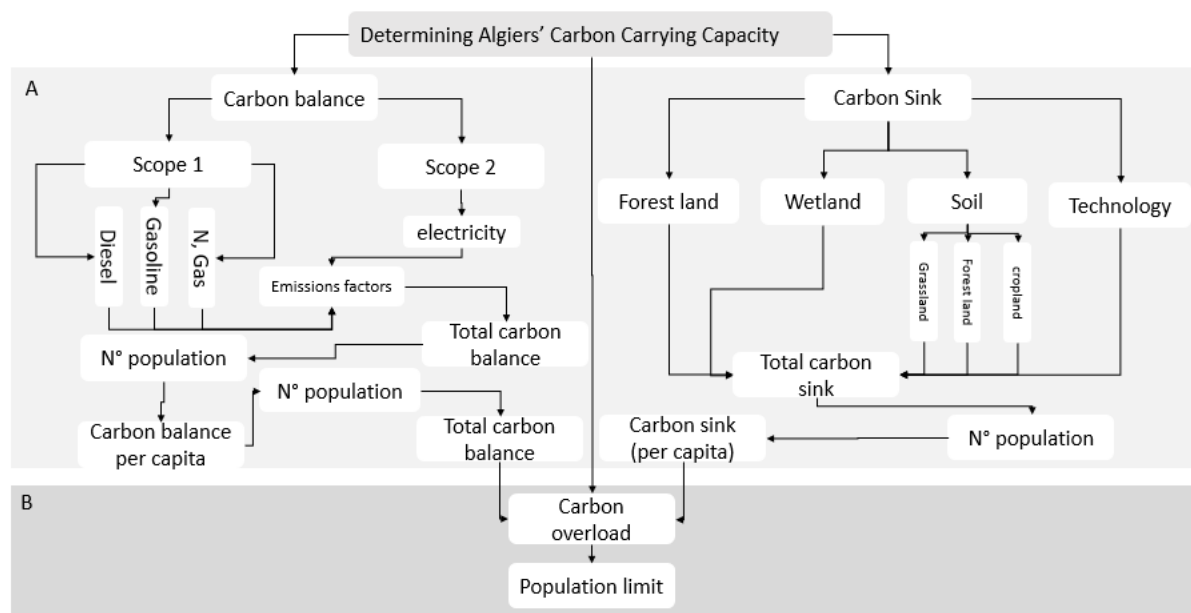
C_{tec} : La fraction du carbone stocké par la technologie (i.e., CSC), cette fraction est calculée tel que mentionné par (GIEC, 2006) volume 4, chapitre 2 (voir l'annexe A.01).

Méthode utilisée pour déterminer la capacité de charge de carbone d'Alger

La présente étude se concentre sur le système territorial, qui prend en compte les Scope 1 et 2, car le cadre de recherche ne prend en compte que les émissions anthropiques émises par les

citoyens algérois, qui se produisent à l'intérieur des limites de la ville. Cependant, pour déterminer les émissions de carbone par habitant, les émissions de carbone de Scope 1 et Scope 2 ont été évaluées, puis le total des émissions de carbone a été divisé par la population d'Alger. Par conséquent, afin de déterminer la limite de population d'Alger, la capacité de charge carbone des puits d'Alger est divisée par les émissions de carbone par habitant, comme indiqué dans la figure 30.

Figure 30 : Méthodologie adoptée pour évaluer la capacité de charge carbone d'Alger.



Source : Auteur, 2019.

3.2.6 Résultats

Dans la section (3.2.6.1), nous représentons les résultats d'évaluation des puits de carbone d'Alger, et puis dans la section (3.2.6.2), nous exposons l'inventaire des émissions de carbone d'Alger.

3.2.6.1 Capacité de charge carbone d'Alger

Les résultats dans les tableaux ci-dessous sont élaborés en fonction des équations de l'annexe A.01.

- *Les forêts (par le biais du processus de la photosynthèse) :*

Tableau 6: Informations de base pour calculer le puits de carbone forestier par les processus de photosynthèse.

/	Superficie des forêts (ha)	ΔC_G (tones C yr ⁻¹)	ΔC_L (tones C yr ⁻¹)	ΔC_B (tones C yr ⁻¹)
Valeurs	2 927,71	8 671,192	0	8 671,192

Les données sur la superficie forestière d'Alger proviennent de la direction des forêts et de la ceinture verte d'Alger (DFCV)..

- *Sol (par le biais du processus d'évaporation) :*

Terres cultivées

Tableau 7: Informations de base pour calculer le puits de carbone du sol des terres cultivées.

/	Superficie des terres cultivées (ha)	$\Delta C_{Mineral}$ (t C)	$\Delta C_{organic}$ (t C)	$\Delta C_{inorganic}$ (t C)	ΔC_{Soils} (t C)
valeurs	32 526	98 748,936	0	0	98 748,936

Les données sur la superficie des terres forestières d'Alger proviennent de la direction des services agricoles d'Alger (DSA).

Forêts

Tableau 8: Informations de base pour calculer le puits de carbone du sol forestier.

/	Superficie des forêts (ha)	$\Delta C_{Mineral}$ (t C)	$\Delta C_{organic}$ (t C)	$\Delta C_{inorganic}$ (t C)	ΔC_{Soils} (t C)
Valeurs	2 927,71	21 681,924	0	0	21 681,924

Source : Auteur, 2019.

Pâturages

Tableau 9: Informations de base pour calculer le puits de carbone du sol des prairies.

/	Superficie des terres de pâturage (ha)	$\Delta C_{Mineral}$ (t C)	$\Delta C_{organic}$ (t C)	$\Delta C_{inorganic}$ (t C)	ΔC_{Soils} (t c)
Valeurs	0	0	0	0	0

Source : Auteur, 2019.

- *Océan (ocean carbon uptake fraction)*

L'océan joue un rôle important dans l'atténuation des perturbations sur le système climatique, car il constitue le plus grand puits de carbone par rapport à la biomasse et au sol. Selon (Khatiwala et al., 2009), la capacité de captage de carbone des zones humides équivaut à 28% des émissions totales de carbone résultant d'activités anthropiques. De même, le puits de carbone des zones humides d'Alger est calculé comme montré dans le Tableau 13 :

Tableau 10: Informations de base pour calculer l'absorption de carbone par les zones humides (océans).

/	Fraction du puits de carbone des zones humides	Bilan carbone total d'Alger (t CO ₂)	Puits de carbone des zones humides (t CO ₂)
Valeurs	28%	3 929 243,44	1 100 188,16

Source : Auteur, 2019.

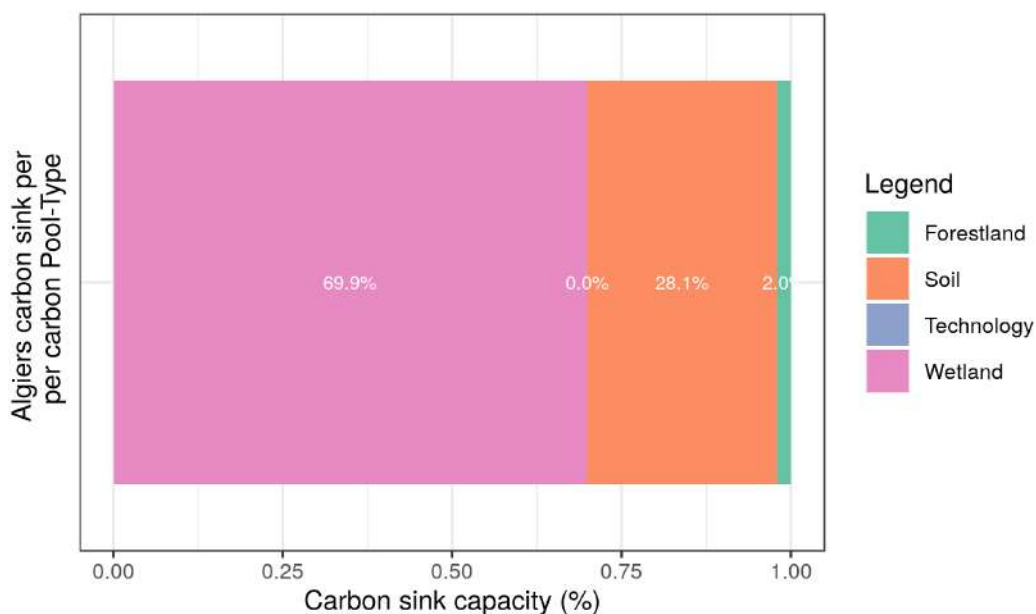
- *Technologie (CSC)*

De nos jours, la technologie joue un rôle de premier plan dans la résolution des problèmes environnementaux créés par l'humanité. Pour atténuer le phénomène de réchauffement planétaire, la technologie du CSC est la technique la plus pertinente utilisée au milieu du XXI^e siècle. Le GIEC estime donc que son potentiel pourrait être compris entre 10% ~ 55% de l'effort d'atténuation jusqu'en 2100 (Metz et al. 2005). Cependant, il n'existe pas de CSC en Algérie (à l'exception d'Ain Salah).

Selon ces résultats, nous notons que les terres forestières (séquestration des arbres) jouent un rôle mineur dans la séquestration des émissions de carbone (Fig.31). En fait, les zones forestières d'Alger sont pour la plupart fragmentées, détériorées et menacées, et chaque année, elles rétrécissent au profit de l'urbanisation. Depuis lors, les autorités locales doivent protéger et restaurer les atouts écologiques d'Alger. En effet, les décideurs doivent reconnaître que la forêt occupe une place importante dans la dynamique fondamentale de la biosphère à l'échelle mondiale, étant donné que les forêts sont considérées comme des terres de première importance, capables d'équilibrer les gaz atmosphériques, de contrôler le climat local et de fournir un habitat à la faune, de contrôler l'érosion et surveiller le cycle hydrologique (Daily and Ehrlich 1992). Mais aussi à l'échelle locale, car les chercheurs étudient en permanence les effets bénéfiques des forêts sur l'homme (Elena M. Bennett et al. 2015; Costanza 2008; Dobbs, Escobedo, and Zipperer 2011; Kusel 1996; Louman et al. 2009; Millennium Ecosystem Assessment 2005), à savoir améliorer le bien-être humain avec certains avantages socio-économiques, physiques et psychologiques. Quoi qu'il en soit, les écosystèmes forestiers représentent, selon un focal urbain, un haut lieu d'intérêt culturel et

spirituel propice aux activités de loisirs, c'est pourquoi il est essentiel que les autorités locales intègrent la gestion durable des forêts dans la planification locale. Des outils tels que PDAU (schéma directeur et urbanisme) et POS (plan d'utilisation des sols), connaissent l'état inhérent des terres forestières, qui représentent la principale cause de la perte de biodiversité, à la fois pour la faune et pour la flore, à Alger.

Figure 31 : Capacité de charge carbone de la Wilaya d'Alger.



Source : Auteur, 2019.

3.2.6.2 Bilan carbone du métabolisme socio-économique

- *Scope 1*

Tableau 11: Emissions de carbone dues à la combustion de combustibles fossiles dans la ville d'Alger.

/	Bilan énergétique (Tep)	facteurs d'émissions	Bilan de carbone (t CO ₂)
gaz naturel	968 420	2,3	2 227 366
Diesel (superior)	762, 072	2,9	2 210
Diesel (unleaded)	395 9,2	2,9	11 481,68
Gasoline	141 259, 35	3,1	437 903, 985

Source : Les facteurs d'émissions sont tirés de l'APRUE.

- **Scope 2**

Tableau 12: Émissions de carbone dues à la consommation d'électricité dans la ville d'Alger.

/	bilan énergétique (Tep)	facteurs d'émissions	Bilan carbone(t CO ₂)
Electricité	480 877, 6	2,6	125 028 1,76

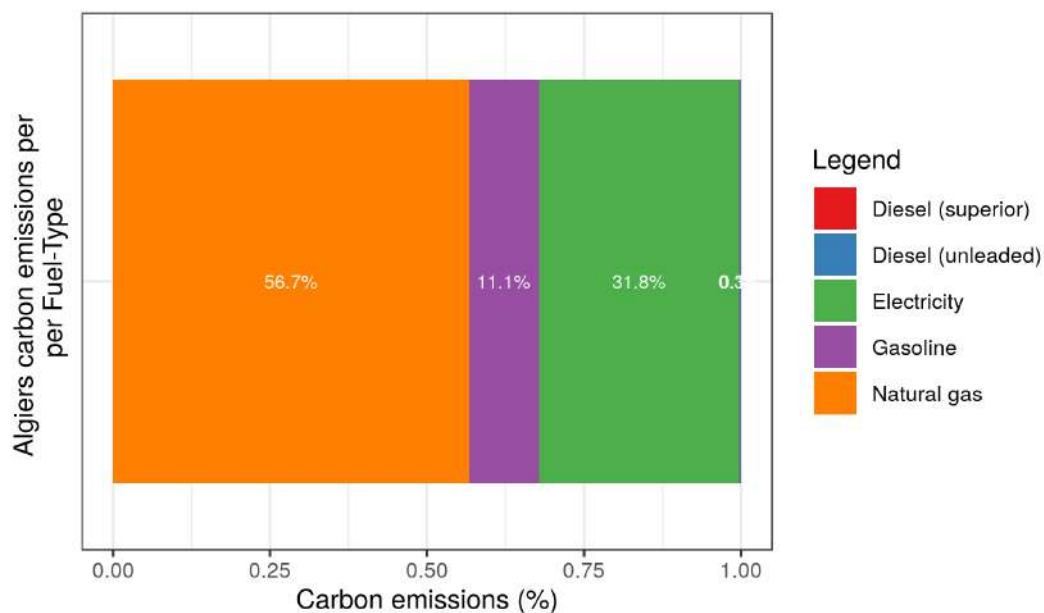
Les facteurs d'émissions sont collectés de l'APRUE.

- **Émissions par personne**

Tableau 13: Bilan carbone d'Alger (t CO₂).

/	bilan carbone d'Alger (t CO ₂)	Population d'Alger	bilan carbone par personne (t CO ₂ /cap*yr)
valeurs	3 929 243,44	3 154 792	1,24

La population d'Alger est dérivée de la Wilaya d'Alger.

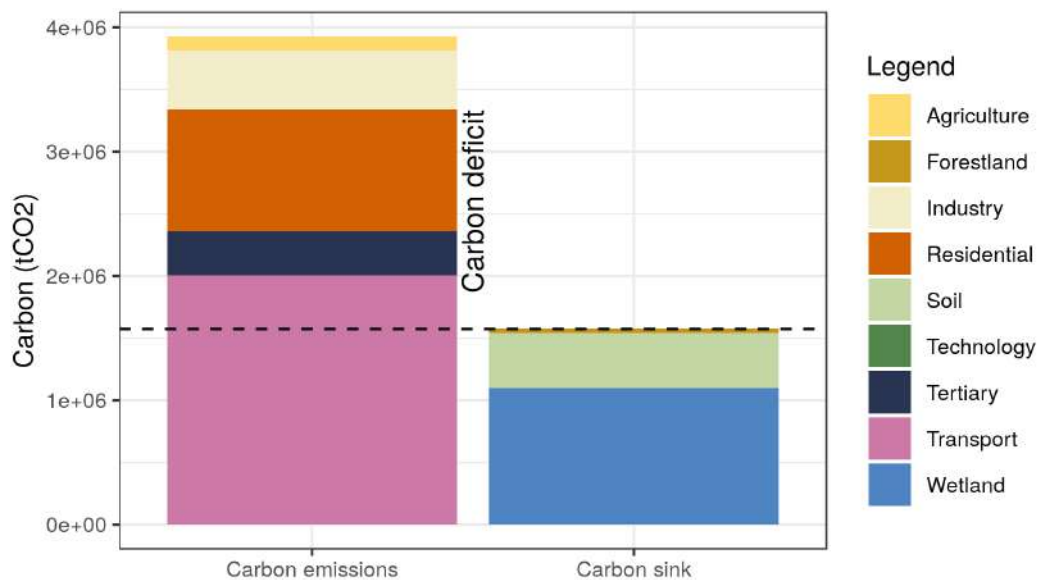
Figure 32 : Les émissions de carbone d'Alger.

Source : Auteur, 2019.

Figure 32 montre que le système de transport représente la majeure partie des émissions totales de carbone d'Alger avec une part de 51%, suivi du secteur résidentiel avec 25% et de

l'industrie avec 12%. Comme beaucoup de villes des pays à revenu intermédiaire, Alger présente le même schéma d'émissions de carbone provenant de l'environnement urbain. En fait, Alger compte environ 2,8 millions d'habitants et génère quotidiennement plus de 6,5 millions de déplacements (de Oña et al. 2016). L'absence d'une infrastructure de transport public adéquate et efficace dans la ville a poussé les citoyens à utiliser des voitures particulières (Bakour et al. 2018). Sachant que le parc automobile d'Alger est passé de 628 093 voitures en 2000 à 1 150 077 voitures en 2011, soit une augmentation totale de 55%. Le système de transport dans les villes des pays en développement fonctionne avec deux problèmes majeurs : d'une part, la grande majorité des citoyens utilisent la voiture particulière en raison de l'inadéquation des transports publics et des infrastructures publiques et de leur inefficacité à desservir les nouveaux centres urbains, car ce système de transport dans les pays à revenu intermédiaire est principalement qualifié d'"anarchique" (Zitoun and Tabti-Talamali 2009) parce qu'il est principalement dominé par la voiture particulière. D'autre part, le prix du carburant est très bas (de Oña et al. 2016). Avec un prix du carburant très bas, les citoyens sont davantage attirés par les voitures particulières et, par conséquent, les émissions de carbone du système de transport finiront par apparaître. Il faut noter que pour faire passer les modes de transport du mode passif au mode actif, il faudra concevoir un nouveau squelette holistique pour Alger, basé sur la composante du modèle urbain et non sur les comportements individuels et les modes de vie.

Figure 33 : Evaluation de la capacité de charge carbone d'Alger.



Source : Auteur, 2019.

3.2.7 Discussions

Selon cette étude, la capacité de charge carbone d'Alger ne pourrait pas supporter le type et l'ampleur de son profil de métabolisme socioéconomique. Par ailleurs, les citoyens d'Alger ne vivent pas en harmonie avec leur environnement immédiat, car la magnitude des outputs générés par le métabolisme socioéconomique d'Alger dépasse la capacité d'assimilation de l'environnement (Fig.33). Cette situation critique met en lumière le fait qu'Alger est une ville trop éloignée pour être une ville durable qui respecte ses seuils environnementaux.

Néanmoins, théoriquement, il existe trois trajectoires constituant une feuille de route urgente afin d'amortir cette surcharge de carbone.

Premièrement, il est facultatif de limiter la population algéroise à 1 268 963 habitants - si la trajectoire actuelle en termes de consommation d'énergie, de mode d'approvisionnement en énergie et de modes de vie est maintenue. Toutefois, il faut noter que selon le cadre de C⁴, Alger contient actuellement près de trois fois (2,5) la taille de sa population plus que ce qu'elle peut supporter, en d'autres termes, 235 528,43 t CO₂/an sont rejetées dans l'atmosphère ce qui représente près de 60% de l'inventaire global de carbone d'Alger, donc seulement 40% sont séquestrés par des processus naturels. Malheureusement, la classification d'âge d'une ville donnée contribue à l'augmentation ou au rétrécissement des empreintes écologiques. Selon l'analyse de la structure d'âge d'Alger, nous remarquons que la population d'Alger âgée de 15 ans ou plus représente 61,8% de la population totale. Ainsi, avec un taux de croissance de la population de 2,17% (Office National des Statistiques 2016), cela signifie qu'il y aura plus de jeunes qui vont bientôt se reproduire.

Deuxièmement, Alger pourrait étendre ses atouts écologiques (terres forestières) à 36 709 ha afin de séquestrer l'intégralité de ses émissions anthropiques, mais à Alger, il n'y a que 4 927 ha, cette superficie supplémentaire représente 30 fois la superficie d'Alger. Ça serait plus efficace si les autorités locales arrivaient à augmenter la séquestration moyenne du carbone forestier en plantant des catégories d'arbres stockant de grandes quantités de carbone et pouvant survivre avec les conditions climatiques locales d'Alger (par exemple, eucalyptus).

Troisièmement, il est possible de réaliser une transition écologique qui ne peut être qu'une transition énergétique. Les parties prenantes et les autorités locales d'Alger devront s'efforcer de prendre des mesures progressives en faveur de l'utilisation et de la généralisation des énergies renouvelables, en particulier pour les ménages et les secteurs des transports, qui représentent respectivement 25% et 51% des émissions totales de CO₂, et investir davantage dans les ressources renouvelables (éolienne, aérienne, solaire, nucléaire, géothermique), car la zone géographique de l'Algérie est propice au développement de ce type d'énergie appelée énergie verte, décarbonisée, à faible intensité de carbone ou renouvelable.

Cette recherche montre que le mode de vie et le mode de consommation d'Alger sont à l'origine de nombreux maux urbains qui peuvent être ressentis localement, mais aussi avoir un effet global. Par conséquent, les pays en développement, en particulier ceux de la région MENA, doivent concevoir de nouveaux outils afin de contrôler et surveiller leurs modèles urbains, et reformuler des stratégies à base carbone en utilisant la notion de seuils afin de faire face aux nouveaux défis environnementaux. Un changement systémique radical dans les modes d'utilisation des terres est donc nécessaire.

Conclusion

Le changement climatique est considéré comme l'un des plus grands défis auxquels les sociétés modernes doivent faire face, et tous les pays, sans exception, devraient établir des feuilles de route respectueuses du climat pour atteindre l'objectif de 1170 Gt de eqCO_2 et stabiliser la température de la surface de la Terre à 2°C d'ici 2100. Cependant, de nombreux pays en développement dont l'économie est en croissance hésitent souvent à se joindre à la course internationale aux accords sur le climat ou non, craignant d'agir pour le climat et de perdre la course au développement économique. Néanmoins, il est très important de souligner que ces villes devraient mettre en place des mesures d'atténuation du changement climatique afin de renforcer leur résilience aux perturbations de l'offre et de la demande et de façonner une économie solide et durable à long terme.

L'évaluation de la capacité de charge en carbone de la ville d'Alger (C^3) présentée dans ce chapitre a permis de comparer de manière cohérente les besoins en puits de carbone des déchets du métabolisme socioéconomique d'Alger. Dans l'ensemble, nous avons constaté qu'Alger, une des villes méditerranéennes et faisant partie de l'un des pays à revenu intermédiaire supérieur (LMICs), connaît des problèmes de durabilité environnementale parce que les émissions anthropiques directes territoriales de carbone dépassent le seuil d'assimilation par l'environnement. Notre recherche est basée sur la comparaison des deux indicateurs : i) le puits de carbone en considérant l'ensemble du cycle biogéochimique du carbone, et ii) les émissions de carbone en considérant les émissions territoriales émises à l'intérieur des limites administratives d'Alger (évaluation des champs d'application 1 et 2). Heureusement, l'état de déficit carbone est facilement évitable en se focalisant davantage à la fois sur les actifs écologiques des villes et leur empreinte carbone.

Le phénomène du réchauffement climatique se dissipe de son aspect déstructuré ; il offre l'opportunité de remodeler et de redessiner les villes du monde pour mettre en œuvre de nouvelles actions efficaces en faveur de la durabilité mondiale. Dans ce contexte, comme les émissions de carbone, la surconsommation d'énergie, la croissance démographique et le déclin

des actifs écologiques sont les problèmes les plus fréquemment cités dans la littérature scientifique et une préoccupation fondamentale des décideurs politiques urbains, le C³ souligne le besoin urgent de soumettre des mesures pour limiter et contrôler la surpopulation et la surconsommation d'énergie, en particulier dans les pays en développement dont l'économie est en croissance, étant accompagné par d'autres facteurs de limitation critiques tels que la nourriture, l'eau, où la taille de la population croît trop rapidement pour que l'environnement puisse fournir les ressources et absorber les déchets de l'environnement bâti. De même, le C³ pourrait constituer un outil complet pour rééquilibrer le fonctionnement des villes avec leur budget carbone en : i) maintenant et restaurant les actifs écologiques des villes. ii) surveillant le dépassement des émissions de carbone des villes. iii) réduisant les émissions de carbone, ceci est un processus clé pour aider à guider les villes en développement vers une transition écologique et mieux préparer les actions locales pour les questions climatiques mondiales selon l'adage *"penser globalement, agir localement"*. La capacité de charge de carbone, développé dans cette recherche, n'a pas pour but d'arrêter ou de réduire la croissance démographique, mais plutôt d'introduire une nouvelle mesure plus opérationnelle que théorique pour réduire les émissions de carbone des villes en se concentrant à la fois sur les questions liées au développement urbain durable et à la gestion durable des forêts.

Chapitre IV : Évaluation des émissions indirectes du métabolisme socio-économique algérois : Vers un rétrécissement du bilan carbone

« L'empreinte carbone, complémentaire de la comptabilisation des émissions axée sur les territoires, a ajouté une nuance essentielle au débat sur l'atténuation des changements climatiques en soulignant la responsabilité des consommateurs dans une économie mondialisée. » Peter Paul Pichler, Nature, 2017.

Introduction

Depuis la COP₂₁ de Paris en 2015, les villes sont devenues l'élément central de la lutte contre le changement climatique. Cependant, les villes du 21^e siècle sont considérées comme étant des systèmes hyper complexes ayant un métabolisme socio-économique ouvert. Dès lors, s'engager à réduire les émissions de carbone devient plus critique que jamais. L'empreinte carbone est une méthode pertinente pour les parties prenantes d'Alger afin d'atteindre leurs buts en matière des objectifs assignés au niveau de la Contribution Déterminée au niveau National (CDN), soumis à la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) en 2015, et d'amortir par voie de conséquence la dette carbonique d'Alger, étant donné qu'elle est doublement axée sur les émissions liées à la production et la consommation, puisque l'empreinte carbone à l'échelle des villes dans les pays d'Afrique n'a pas encore été estimée. Cette étude vise à calculer l'empreinte carbone d'Alger, les résultats montrent que les émissions incorporées (indirectes) sont importantes dans les villes des pays en développement comme celles des villes émergentes et développées et que les collectivités locales d'Alger doivent prendre en compte les émissions indirectes dans leur futur agenda de décarbonisation.

4.1 Décrypter le fonctionnement complexe des villes : Inoculations disciplinaires

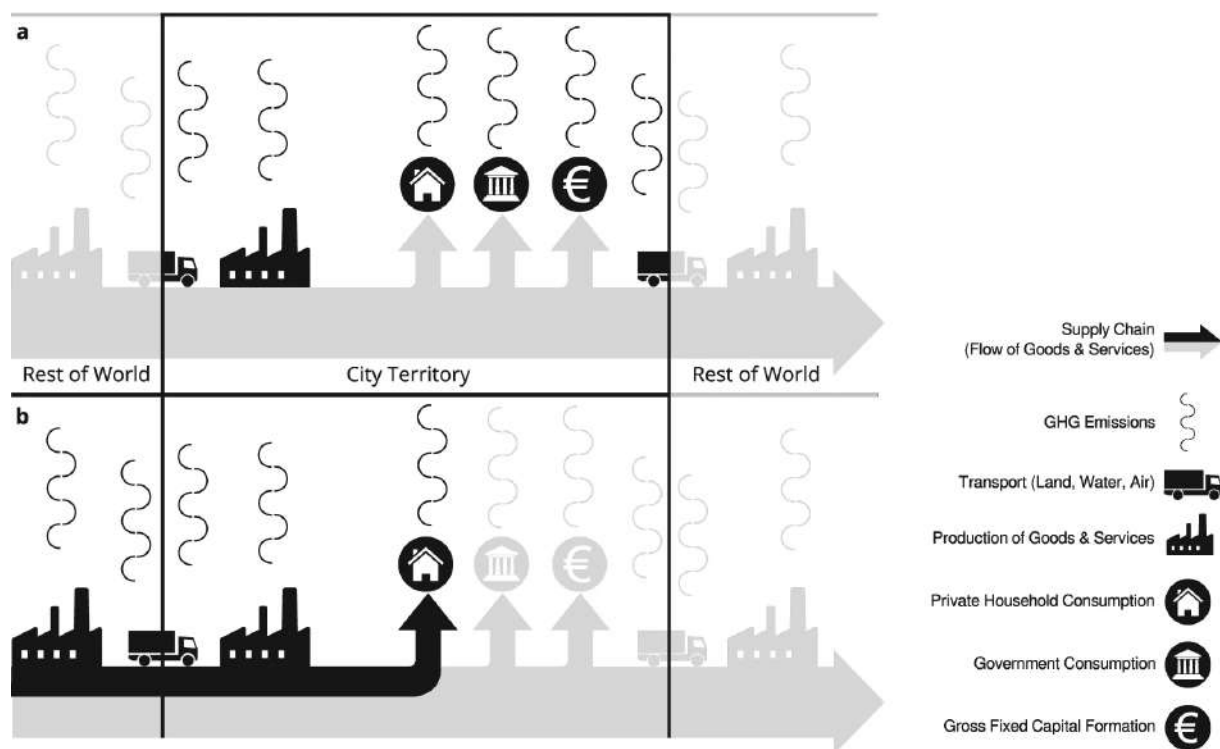
5.1.1. La ville en tant qu'objet complexe et son lien avec les émissions carboniques

Comprendre la ville d'aujourd'hui requiert une triangulation de plusieurs disciplines, en effet, le contexte urbain des villes du 21^e siècle n'est pas considéré seulement un assemblage d'un objet architectural, d'où sa compréhension revient majoritairement à cette discipline, mais au contraire, comprendre ces artéfacts, nécessite une approche transversale et multidisciplinaire.

Les villes sont des systèmes économiquement ouverts qui dépendent de biens et de services importés des marchés nationaux et mondiaux pour satisfaire leurs besoins matériels et énergétiques. Dès lors, les émissions carboniques émises par une ville sont difficiles à évaluer.

Néanmoins, l'empreinte carbone (EC) est une mesure très pertinente pour l'atténuation du changement climatique urbain puisqu'elle inclut non seulement les émissions directes des activités de consommation urbaine, mais aussi les émissions en amont, c'est-à-dire les émissions qui se produisent tout au long de la chaîne de production mondiale des biens et services achetés par les consommateurs locaux (Fig.34).

Figure 34 : Comparaison conceptuelle entre la comptabilité territoriale des émissions de GES (a) et l'empreinte des GES (b).



Source : Peter Pichler et al., 2017.

Cette approche complémentaire de la comptabilisation des émissions axée sur les territoires a ajouté une nuance critique au débat sur l'atténuation des changements climatiques en soulignant la responsabilité des consommateurs dans une économie mondialisée. Pourtant, les responsables municipaux ignorent en grande partie leurs émissions en amont ou doutent de leur capacité à les compter et à les contrôler.

Bien que plusieurs initiatives reconnaissent de plus en plus l'ouverture du métabolisme socio-économiques des villes entraînant des émissions de gaz à effet de serre via la consommation des ressources et la combustion des énergies fossiles à l'intérieur de la ville, mais également à l'extérieur de ses limites, la plupart des villes continuent à concentrer entièrement leurs efforts de réduction sur les émissions rejetées directement par leur territoire en ignorant les émissions indirectes (qui sont produites à l'extérieur des villes et sont associées aux habitants).

Nous montrons, dans ce chapitre, que les émissions en amont provenant de la consommation des ménages urbains sont du même ordre de grandeur que les émissions territoriales globales de la ville d'Alger, et que l'effet de levier des politiques locales pour réduire les émissions en amont est plus important que prévu.

5.1.2. L'économie : Une discipline apte à décrypter le fonctionnement des villes

L'économie fait partie des sciences humaines et sociales qui s'intéressent à analyser les échanges des biens et services entre producteurs ~ consommateurs. En effet, cette discipline se scinde en deux grandes branches à savoir : la macroéconomie et la microéconomie. La première étudie les grandes tendances économiques (flux d'énergie et de la matière première, consommation et production à l'échelle du globe) alors que la deuxième étudie les comportements des agents économiques, autrement dit, analyse le marché mondial/local par le biais des individus, ménages, entreprises...etc. Récemment, une branche d'économie qui a connu une grande notoriété "*l'économétrie*", est consacrée principalement à l'application des méthodes quantitatives aux modèles économiques en se basant sur les outils et méthodes statistiques et un raisonnement majoritairement fondé sur une méthode hypothético-déductive, avancée par John Stuart Mill⁴¹ (1806-1873) qui comporte les postulats suivants :

- Formuler une hypothèse,
- En déduire une prédiction,
- Tester la prédiction,
- Évaluer l'hypothèse en fonction de la pertinence de la prédiction.

Mais également la méthode inductive, avancée par Daniel Hausman⁴², comportant trois postulats :

- Observation des faits, phénomènes ;
- Dédution des lois ;
- Vérification des lois.

De par son caractère transversal, ses outils et ses méthodes, la discipline d'économie est toujours omniprésente quant à la représentation des villes, du fait qu'elle se base sur l'idée de

⁴¹ John Stuart Mill est un philosophe et économiste britannique, il est probablement le dernier à représenter l'école économique classique.

⁴² Daniel M. Hausman est né en 1947 à Chicago, Illinois. Il est l'un des plus grands philosophes américains. Ses recherches se focalisent sur la méthodologie métaphysique, et les limites éthiques entre la philosophie et l'économie.

l'Homo oeconomicus, qui stipule que l'homme, en dépit des contraintes, cherche à atteindre les meilleurs résultats et de la meilleure façon, et les villes en sont un exemple.

L'économie présente l'une des disciplines ayant la capacité d'analyser le comportement des villes et analyser par voie de conséquence des flux input-output des énergies et matières premières. En effet, le contexte urbain, suivant une focale économique, est défini par le biais de deux acteurs : producteurs et consommateurs. Cette branche est appelée économétrie, définie comme étant "*l'application des statistiques à l'économie*", elle est majoritairement basée sur les régressions linéaires et est également définie comme étant "*la relation entre un ou plusieurs des variables indépendantes (x) et une variable dépendante (y)*", c'est une méthode très pertinente pour prévenir les aléas d'avenir, par exemple. Notons que les mêmes algorithmes de l'économétrie peuvent être poussés vers la création de l'intelligence artificielle (AI).

L'économétrie s'anime par le biais des analyses de régression linéaire qui prend la formule suivante :

Équation 13

$$y = \alpha + \beta x + \epsilon$$

D'où :

y : Variable dépendante.

α : Constant (intercepte).

βx : Variable indépendante.

ϵ : La marge d'erreur.

5.1.2.1. La ville : Statistiques et probabilités

Il est clair que la ville est un objet complexe, composée de plusieurs éléments ayant une structure et une fonction, et qu'elles sont en constante interaction dynamique. Dès lors, la ville pourrait également être définie par le biais des variables, on note : les personnes, les emplois, les produits, les véhicules, etc. À cet égard, la ville peut, en effet, représenter un objet très pertinent pour la discipline d'économie.

Si la statistique est approchée par la collecte, l'analyse, l'interprétation et par la représentation de ces données pour pouvoir étudier un phénomène en se basant sur un agrégat de techniques et méthodes, et si le probabilisme se présente comme la probabilité qu'un événement se produise et/ou se reproduise, si la valeur est proche de 1, le risque (perte de biodiversité à t), l'opportunité (adaptation aux changements climatiques), la ville pourrait adopter l'analyse de ses Input-Output pour mieux déceler les écueils de son métabolisme socio-économique.

5.1.2.2. La ville, un élément générateur des données

Au-delà d'un support physique qui supporte une structure sociale, la ville, par la diversité et la pluralité de ses composantes, produit plusieurs données à la fois qualitative et quantitative. Nous pouvons les grouper en trois types :

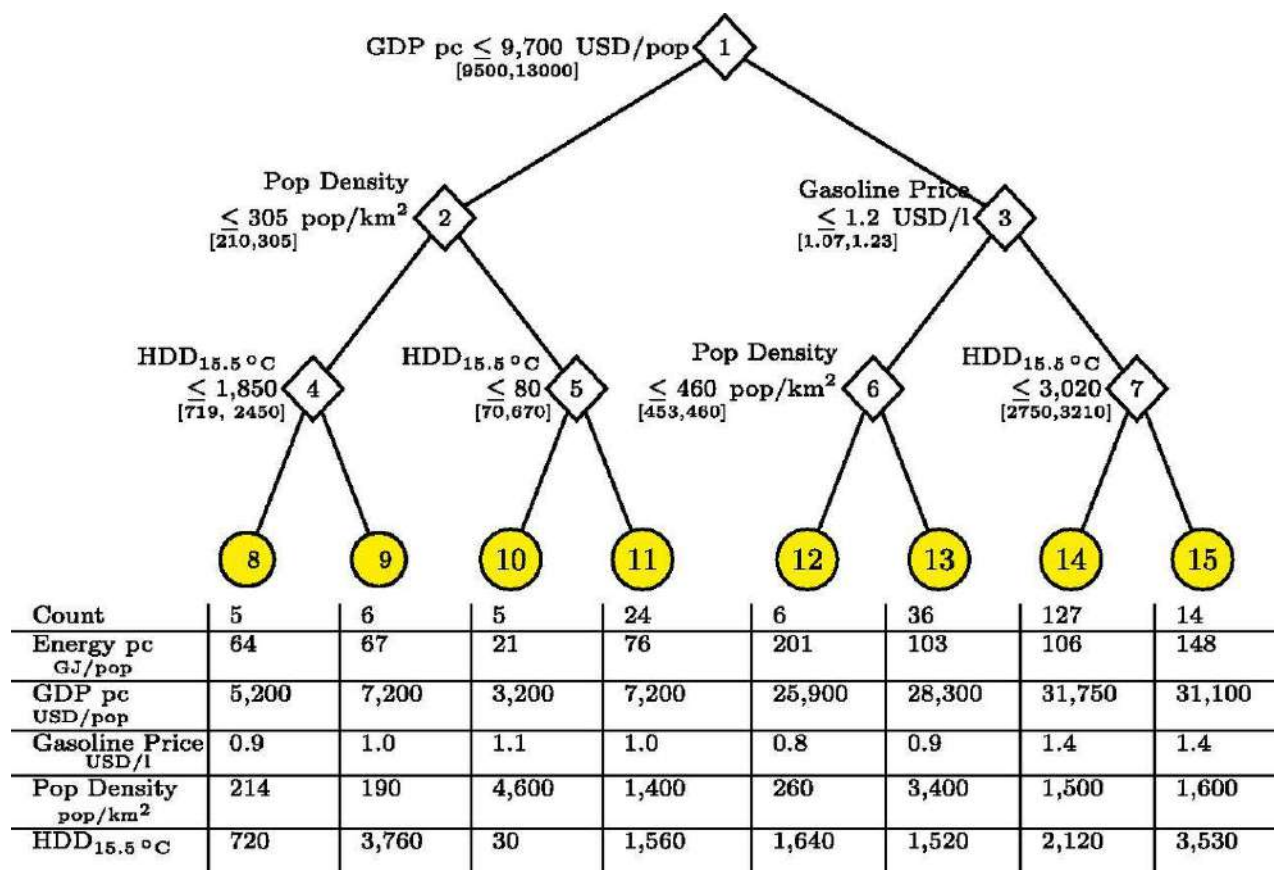
- *Time-series* : Des observations en fonctions du temps ;
- *Cross-sectional* : Des observations en fonction des individus ;
- *Panel-Data* : Regroupe les deux types susmentionnés.

5.1.2.3. La ville : Types d'analyses et modèles de régression

En 2015, une étude a été initiée pour identifier quels sont les secteurs urbains responsables de la consommation d'énergie (généralement des énergies fossiles) et quels seront leurs impacts environnementaux (la quantité des émissions carboniques). Cette recherche a été conduite par un groupe de chercheurs affiliés au *Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change (Deutschland)* et *Potsdam Institute for Climate Impact Research (Deutschland)*, leur recherche intitulée « *Global typology of urban energy use and potentials for an urbanization mitigation wedge* », fournie une analyse exhaustive des villes du monde entier en identifiant le potentiel global des villes pour l'atténuation du changement climatique, ce qui n'est pas possible avec des études de cas individuelles.

Pour analyser les attributs urbains liés à la consommation d'énergie, un ensemble complet de variables décrivant les caractéristiques multidimensionnelles des zones urbaines était nécessaire, notamment la forme urbaine, les caractéristiques économiques et géographiques. Le groupe de chercheurs (Creutzig et al. 2015a) ont utilisé des données provenant de trois sources établies pour substituer ces variables, chacune est recueillie en utilisant différentes méthodes : la Banque mondiale (BM), l'Évaluation mondiale de l'énergie (GEA) et l'association de l'efficacité énergétique dans les systèmes de transport urbain (UITP). L'étude se base sur 274 villes, qui étaient prises en tant que villes représentatives des fonctionnements des villes du monde entier.

Les résultats de leur étude ont démontré que le transport est le premier responsable de la consommation d'énergie en milieu urbain et, par voie de conséquence, le premier responsable des émissions de gaz à effet de serre, suivi par la taille des ménages et le taux d'urbanisation. L'étude a démontré aussi que, dans tous les ensembles de données, l'activité économique, la densité de la population et le prix de l'essence sont les facteurs les plus importants, mais ainsi la taille de la population, la taille des ménages, le niveau d'urbanisation et l'indice de centralité commerciale (Fig.35).

Figure 35 : Régression à trois niveaux de seuil sur les villes.*Source: Creutzling et al. 2015.*

4.2 Tableaux entrée-sortie multirégionale : Base de données sur la chaîne d'approvisionnement mondiale

La base de données Eora, s'agissant d'une base de données sur la chaîne d'approvisionnement mondiale est constituée, principalement, d'un modèle de tableau d'Entrées-Sorties Multi-Régional (MRIO) qui fournit une série chronologique de tableaux d'entrées-sorties à haute résolution avec des comptes satellites environnementaux et sociaux correspondants pour 190 pays. Les caractéristiques du MRIO Eora :

- Un tableau MRIO mondial équilibré documentant les transferts intersectoriels entre 15 909 secteurs dans 190 pays ;
- Une série chronologique complète pour la période 1990-2015 ;
- 2720 indicateurs environnementaux de postes budgétaires couvrant les émissions de GES, les facteurs de travail, la pollution atmosphérique, l'utilisation d'énergie, les besoins en eau, l'occupation des sols, les émissions de Nitrogène (N) et Phosphore (P),

les intrants primaires de l'agriculture (dont 172 cultures) de FAOSTAT, et l'appropriation par l'homme de la productivité primaire nette (HANPP) :

- Une version haute résolution (Eora complète) préservant le détail des tableaux d'OI nationaux, et une version simplifiée (Eora26) avec une classification harmonisée à 26 secteurs sont disponibles ;
- Des données brutes tirées d'un large éventail de sources de données nationales et internationales ;
- Des statistiques de fiabilité pour tous les résultats.

Les données d'Eora sont gratuites pour l'utilisation académique dans les établissements d'enseignement supérieur qui délivrent des diplômes. Tous les autres utilisateurs doivent obtenir une licence pour utiliser les données.

Eora est disponible en plusieurs formats :

- *Tableaux individuels des OI par pays* : Les tableaux individuels par pays peuvent être téléchargés. Ils contiennent les tableaux nationaux des entrées-sorties ou des sorties, pour chaque pays, les blocs d'entrées primaires et de demande finale (FD), les importations et les exportations détaillées par partenaire et les comptes satellites de l'environnement. Notez que ces tableaux ont des structures mixtes, de sorte que pour les analyses nécessitant des comparaisons entre pays, nous recommandons d'utiliser le modèle Eora26 simplifié.
- *Eora26* : S'agissant d'un tableau MRIO global complet, plus une matrice satellite environnementale, dans une classification harmonisée de 26 secteurs.
- *Eora complet* : Il s'agit de la table MRIO Eora complète. Contenant 5 marges (prix de base, marge commerciale, marge de transport, taxes et subventions), des tableaux de classification mixte *CIOT/IIOT/SUT* et des blocs commerciaux rectangulaires complets. Uniquement disponible pour les utilisateurs académiques avec un enregistrement par courriel. Notez que les autres utilisateurs devront acheter une licence.

4.2.1 Structure des tableaux dans la base de données d'Eora

Figure 36 : Schéma explicatif des tableaux MRIO fournis par Eora.

		Country 1			country_dest			country_dest		
		Ind	Com	FD	Ind (entity_id=3)	Com (2)	FD (4)	Ind	Com	FD
Country 1	Ind		Supply							
	Com	Use								
	VA									
country_origin	Ind				IOT					
	Com									
	VA									
country_origin	Ind									
	Com									
	VA									
INDICATORS	Ind									
	Com									
	VA									
		Gross Input (X) (xin)								
		Gross Output (Y) (xout)								

Source : Eora, 2020.

Figure 36 montre que les tableaux MRIO sont une agrégation de plusieurs tableaux d'Entrées-Sorties pour 190 pays. Les données de chaque pays sont divisées en trois lignes (i) Industries (Ind), (ii) Produits de base (Com) et (iii) valeur ajoutée (VA). Là encore, chaque tableau d'un pays donné est divisé en trois colonnes (i) Industries (Ind), (ii) Produits de base (Com) et (iii) demande finale (FD). La classification Eora de la demande finale (FD) est divisée en six classes : (i) Consommation finale des ménages, (ii) Institutions sans but lucratif au service des ménages (iii) Consommation finale des administrations publiques, (iv) Formation brute de capital fixe, (v) Variations des stocks, et (vi) Acquisitions d'objets de valeur. Notez, un tableau d'Entrées-Sorties doit être équilibré, c'est-à-dire que les entrées brutes doivent être égales aux sorties brutes ($X_{in} = X_{out}$).

Notez qu'*Eora* fournit des tableaux d'entrées-sorties de 1990 à 2015, les données brutes des pays ne sont pas fournies chaque année, en vue de pallier ce problème *Eora* utilise un algorithme automatisé pour créer des tableaux pour les années interstitielles. Cependant, il est très important de mentionner que la comptabilité carbone basée sur la consommation utilise par exemple tableaux de l'économie mondiale totale au niveau national, mais les données sur les intensités au niveau des villes ne sont pas encore disponibles (Chavez and Ramaswami 2013; Fry et al. 2018a), ce qui peut affecter l'estimation du carbone au niveau des villes, car les tableaux des entrées-sorties à l'échelle des villes ne sont pas encore disponibles dans le monde entier, à notre connaissance, sauf au Royaume-Uni (Londres) (Minx et al. 2013a).

Eora suit une résolution minimale des tables sectorielles de 26 secteurs, le tableau.14 montre les secteurs Eora.

Tableau 14 : Classification des secteurs par Eora.

1	<i>Agriculture</i>
2	<i>Pêche</i>
3	<i>Mines et carrières</i>
4	<i>Alimentations et boissons</i>
5	<i>Textile et habillement</i>
6	<i>Bois et papier</i>
7	<i>Produits pétroliers, chimiques et minéraux et non métallique</i>
8	<i>Produits métalliques</i>
9	<i>Produits électriques et machines</i>
10	<i>Matériel de transport</i>
11	<i>Autres industries manufacturières</i>
12	<i>Recyclage</i>
13	<i>Electricité, gaz et eau</i>
14	<i>Construction</i>
15	<i>Entretien et réparation</i>
16	<i>Commerce en gros</i>
17	<i>Commerce de détail</i>
18	<i>hôtels et restaurants</i>
19	<i>Transport</i>
20	<i>Postes et télécommunications</i>
21	<i>Intermédiation financière et activité commerciales</i>
22	<i>Administration publique</i>
23	<i>Education, santé et autres services</i>
24	<i>Ménages privés</i>
25	<i>Autres</i>

Source : Eora, 2020

4.3 Evaluation des émissions carboniques relatives à la consommation finale

5.2.1. Vers des modes de vie respectueux du climat et des comportements soutenables

Aujourd'hui, de nombreux scientifiques affirment que l'écologie de la Terre change avec l'émergence de l'homo sapiens et la montée de sa civilisation (Ellis 2017; Lewis and Maslin 2015; Steffen 2004; Weizsaecker and Wijkman 2018). Cette transition d'époque est principalement dominée par cinq caractéristiques qui définissent notre monde moderne : (i) Perte et dégradation de l'habitat, (ii) Surexploitation des espèces (iii) Pollutions, (iv) Espèces et maladies envahissantes et (v) Changement climatique (McRae, Freeman, Marconi, et al. 2016). Ainsi, le lien avec la bipolarité : l'urbanisation et les impacts environnementaux (par exemple, la richesse et l'urbanisation avec les émissions urbaines de CO₂ (Hertwich and Peters 2009; Pincetl 2017), l'utilisation de la biomasse (Weinzettel et al. 2013) et de matériaux (Moran et al. 2018a) est largement étudié (Nations Unies, Département des affaires économiques et sociales, Division 2014 et Population). Au 21^e siècle, plus de la moitié de la population mondiale vit en milieu urbain, d'ici à 2030, les villes ayant cinq-millions d'habitants continueront de croître pour atteindre 559 villes, et les villes de 500 000 à 1 million d'habitants finiront par atteindre 730 villes (World Economic Forum 2019). Selon le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC 2014), les villes du monde sont donc considérées comme un centre pour la consommation finale d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre. De même, pour faire face aux nouveaux défis environnementaux, il est impératif de reconstruire l'environnement urbain mondial en tenant compte du fait que les villes sont des "*systèmes hyper complexes*" (Dakhia and Berezowska-Azzag 2010; Schläpfer et al. 2014) ayant un "*métabolisme socio-économique ouvert*" (Pichler et al. 2017a) dans lequel un état d'équilibre est requis. Les gestionnaires urbains doivent assurer la dynamique du système et des sous-systèmes urbains sans en modifier la structure ni la fonction, c'est-à-dire que la réduction des émissions de carbone ne signifie pas la mise à terme de certains sous-systèmes urbains, mais elle devrait plutôt encourager de solutions innovantes (Evans 1972; Lin et al. 2018) pour remédier aux symptômes du métabolisme urbain. En fait, nous pouvons conclure que l'état de la Terre dépend du fonctionnement des villes du monde et vice versa.

Afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES), la grande majorité des inventaires mondiaux des émissions de carbone des villes sont basés principalement sur Scope 1 et Scope 2 (Millward-Hopkins et al. 2017), en utilisant les lignes directrices du GIEC proposées dans la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) (Nations 1992, Article 12, p.15). Cette approche d'allocation des émissions se concentre sur

un seul acteur économique : *les producteurs* (Sverige, Naturvårdsverket, and Kemikalieinspektionen 2010), et elle est appelée approche territoriale (Carbone, Zeroual, and Blanquart 2010). L'inventaire de cette approche axée sur l'approche territoriale pourrait être moins efficace pour réduire les émissions de GES en milieu urbain (Wright, Kemp et Williams, 2011). Cependant, de nombreux scientifiques insistent aujourd'hui sur l'importance des émissions en amont, et déclarent que les émissions incorporées sont du même ordre de grandeur que les émissions directes (Pichler et al. 2017) et que pour d'autres, (Lenzen et al. 2006; Minx et al. 2013b) les émissions incorporées dépassent souvent celles émises géographiquement par une ville. Dans ce contexte, l'empreinte carbone est une méthode universelle indiquant le schéma de consommation à l'intérieur de la ville et représente également un indicateur pertinent qui peut déclencher les deux types d'émissions : les émissions territoriales (dites aussi directes, sur site, interne) et les émissions en amont (dites aussi virtuelles, indirectes, hors site, incorporées, en aval). Les émissions en amont sont les émissions liées aux biens et services importés du marché mondial et achetés par les consommateurs finaux urbains. L'ajout de Scope 3 à l'échelle de la ville pourrait représenter une nouvelle voie solide pour réduire les émissions urbaines (Munksgaard et Pedersen 2001 ; G. Peters 2008) en mettant en relief la responsabilité du consommateur final dans le cadre de la *"philosophie de la responsabilité du consommateur"* selon laquelle la responsabilité ultime des impacts environnementaux n'est pas attribuée aux producteurs, mais plutôt aux consommateurs finaux qui achètent des biens et services (Lenzen 2000; Lenzen et al. 2007).

Cependant, la répartition entre les émissions directes et les émissions en amont risque d'entraver les efforts d'atténuation en milieu urbain. Afin de minimiser les émissions de carbone des villes et d'améliorer la robustesse et l'efficacité des actions de mitigation urbaine, les acteurs et les autorités locales de la région du Grand Maghreb doivent tout d'abord déterminer quels secteurs sont responsables de ces émissions, par quel type et selon quel ordre de gravité. La présente étude utilise le modèle de l'empreinte carbone non seulement pour répondre à la question de savoir quelle région du Grand Maghreb et quel secteur les autorités locales doivent prendre en compte pour réduire leurs émissions, mais aussi pour mettre en évidence quels types d'émissions et dans quelle mesure. Remarquez que la *"philosophie de la responsabilité du consommateur"* contredit l'hypothèse de la Courbe de Kuznets Environnementale (EKC) (Kuznets 1955), selon laquelle avec une croissance économique plus élevée, il y aura des impacts environnementaux plus faibles. Désormais, l'analyse EE-IO met l'accent sur le fait que l'ordre et l'ampleur des impacts environnementaux sont liés à la structure des achats locaux et à la richesse des citoyens.

5.2.2. L'empreinte carbone à l'échelle des villes : Quel avenir ?

Malgré la pluralité et la diversité des définitions académiques et des noms attribués au concept de *"Empreinte Carbone"* (carbone incorporé, contenu en carbone, flux de carbone, carbone virtuel, empreinte CO₂, empreinte GES, empreinte climatique) (Bhoyar et al. 2014),

et indépendamment des différentes méthodes pour quantifier et mesurer les émissions, dans notre recherche, le concept est utilisé tel qu'il a été défini par Wiedmann dans (Pertsova 2007) comme étant "*une mesure de la quantité totale exclusive d'émissions de dioxyde de carbone qui est directement et indirectement causée par une activité ou que nous avons accumulée au cours des étapes de vie d'un produit*". Ceci ne doit pas être confondu avec l'empreinte carbone utilisée dans le cadre de l'empreinte écologique proposée par (Wackernagel and Rees 1998b) définie par (Mancini et al. 2016b), comme étant : l'empreinte carbone "*visé à calculer la quantité de superficies forestières nécessaire chaque année pour séquestrer les émissions anthropiques réelles pour cette année compte tenu de la situation forestière réelle de cette année*". Le premier est un indicateur de pression et le second est un indicateur de surface (Chen et al. 2020a; Heinonen et al. 2020).

L'empreinte carbone est utilisée à différentes échelles, à l'échelle d'un pays jusqu'à l'échelle d'une ville en utilisant différentes : approches (Top-Down, Bottom-Up), méthodologies (Processes Analysis -PA, Extended-Environmental Input-Output Analysis -EEIO) (Weidema et al. 2008) et frontières tracées (échelle géographique) (Kennedy, Demoullin, and Mohareb 2012; Wiedmann, Chen, and Barrett 2016). Dans l'Annexe A.04 Tableau 4, nous présentons quelques études choisies sur l'empreinte carbone à l'échelle de la ville.

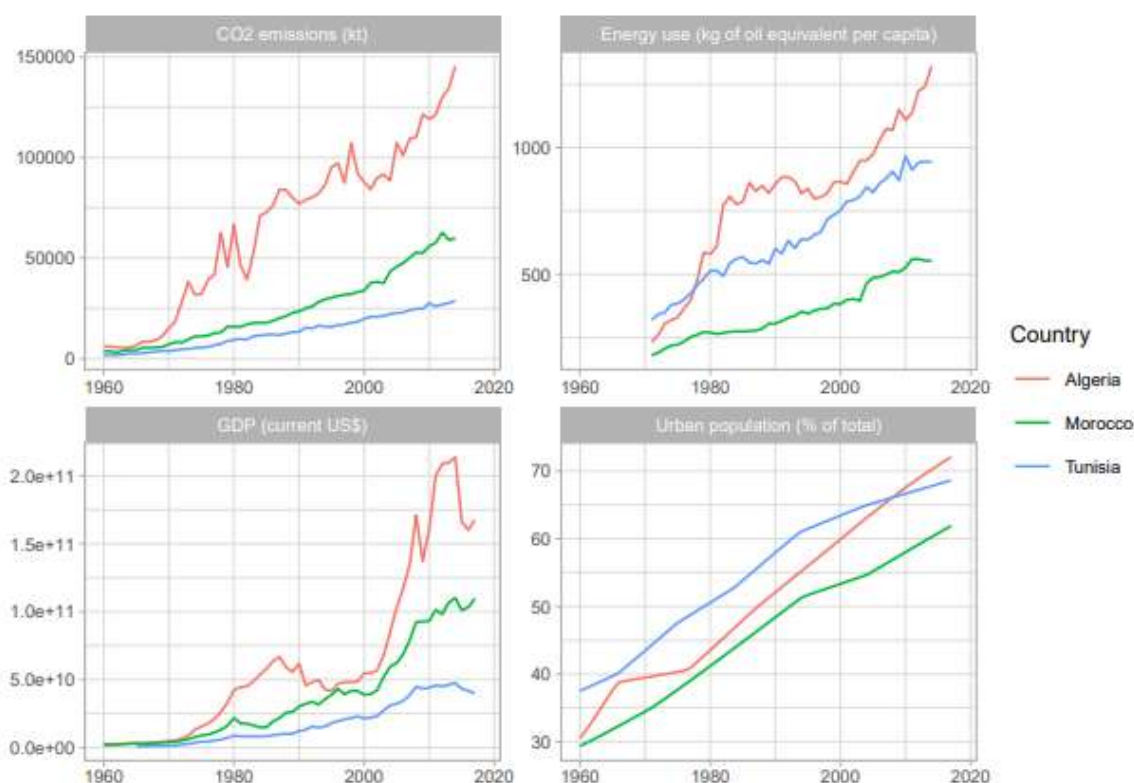
4.4 Méthode et matériaux

5.3.1. Contexte de recherche : Le défi climatique de l'Algérie

Alger représente le cas d'étude pour cette recherche. En fait, malgré la faible responsabilité et la faible contribution du pays (Algérie) au problème du changement climatique, le pays a pris des mesures pour réduire les émissions de carbone à travers son CDN soumis à la CCNUCC⁴³ en 2015 et même quelques engagements affectant le milieu urbain lors de sa signature de l'agrément de Paris en 2016. En effet, l'Algérie vise à réduire ses émissions de carbone (CO₂, CH₄, N₂O) d'ici 2030 sur la base du scénario *Business As Usual* (BAU) de 7% avec des moyens nationaux, et de 22% en cas de soutien financier de ses partenaires bilatéraux et multilatéraux, ce programme de décarbonisation se concentre sur les secteurs énergétique, forestiers, immobiliers, des transports, industriels et des déchets.

⁴³ Ces rapports sont établis conformément à la décision 1/CP.20 (Appel de Lima à l'action pour le climat) (CCNUCC 2015).

Figure 37 : Consommation énergétique, richesse par personne et émissions de carbone dans la région du Grand-Maghreb.



Source : Auteur, 2019.

Comme le montre la figure 37, l'Algérie connaît une forte augmentation des émissions de CO₂, ces émissions sont, en effet, liées à une conjoncture économique sachant que le pays connaît en ce moment une croissance du trio : Consommation énergétique, PIB par personne et la taille de population, ces trois paramètres contribuent à amplifier les émissions carboniques et à alourdir le bilan carbone du pays.

Tableau 16: Les caractéristiques urbaines de la zone d'étude.

Pays	Ville	Limites	Pop	Densité	Surface	Date
Algérie	Grand Alger	57 communes D'Alger, Blida, Tipaza et Boumerdes	6 727 806	9 400/Km ²	1 190 Km ²	2011

Source : Auteur, 2019.

5.3.2. Sources de données

5.3.2.1. Données relatives à l'évaluation des émissions directes de CO₂

Dans cette étude, les émissions directes de CO₂ par habitant sont récupérées sur les données ouvertes de la Banque mondiale (World Bank 2019), après, elles avaient été multipliées par la population urbaine pour avoir le bilan carbone d'une zone urbaine donnée -dans ce cas Alger, Tunis et Marrakech-. Cependant, pour agréger les émissions directes de CO₂ par secteur urbain, une comparaison avec la consommation d'énergie au niveau des villes sélectionnées a été établie, étant donné qu'il n'existe pas d'inventaire des émissions direct de CO₂ à l'échelle de la ville d'Alger, et par extension Tunis et Marrakech. La consommation d'énergie à Alger a été collectée auprès de l'APRUE (Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Énergie).

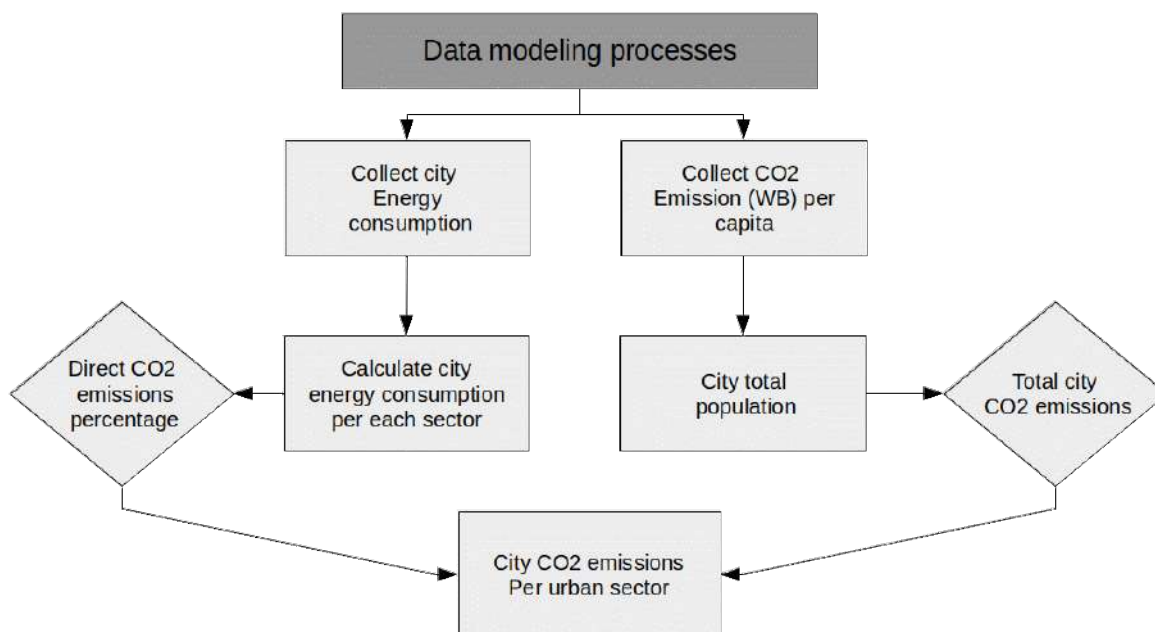
5.3.2.2. Données de l'enquête sur les dépenses de consommation au niveau des villes

Pour l'enquête sur les dépenses de consommation, les données ont été collectées, dans le cas d'Alger, auprès de l'Office national des statistiques (ONS). Notez que l'enquête sur les dépenses de consommation au niveau des villes n'est pas disponible pour Alger, par conséquent, les données ont été réduites de l'échelle nationale à l'échelle de la ville.

4.5 Méthode

5.4.1. Préparation des données

Quant aux données d'inventaire du CO₂ par habitant basées sur la production ont été collectées auprès de la BM, puis multipliées par la population de la ville ce qui donnerait les émissions directes globales de CO₂ de la ville. En outre, les données de consommation énergétique de la ville par secteur ont été collectées auprès des organismes concernés relatifs à l'énergie pour chaque ville. Après, les émissions directes totales par la ville ont été attribuées à chaque secteur avec le même pourcentage de consommation énergétique (Fig.38).

Figure 38 : Méthodologie adoptée pour évaluer les émissions indirectes.

Source : Auteur, 2019.

Inventaire du CO₂ basé sur les émissions directes (émissions territoriales)

L'inventaire des émissions directes de CO₂ des villes est basé sur les émissions directes de CO₂ par habitant de la Banque Mondiale et a donc été réduit au niveau de la ville, et puis, multiplié par la population de la ville par les émissions directes de CO₂ par habitant. Afin d'agrégier les émissions directes de CO₂ urbaines par secteur, une comparaison a été élaborée avec la consommation d'énergie à l'échelle de la ville.

Inventaire du CO₂ basé sur la consommation (émissions virtuelles)

Pour calculer les émissions de CO₂ en amont, nous avons utilisé Extended - Environmental Input-Output Analysis (EE-IO) (Miller and Blair 2009). Les inventaires des émissions en amont des villes sont basés sur l'enquête sur les dépenses de consommation (CES) et un tableau entrées-sorties multirégional (MRIO) fourni par Eora (Lane 2010; Lenzen 2000; Moran and Wood 2014) (Fig.39). Il est à noter que cette étude se concentre uniquement sur la consommation des ménages urbains, car les données relatives à la consommation publique et à la formation brute de capital fixe n'étaient pas accessibles.

Pour calculer les émissions de CO₂ en amont (ou indirecte), nous avons utilisé les étapes suivantes (Kitzes 2013) :

- Cartographier l'enquête sur les dépenses de consommation des ménages pour chaque ville en fonction de la classification des secteurs proposée par Eora (26 secteurs) ;

- Convertir les valeurs des pensées monétaires locales (AD -Algérie, DH- Maroc et DT- Tunisie) en dollars US en utilisant les taux de change du FMI ;
- Calcul du vecteur d'intensité totale en prix d'achat (PP) comme mentionné dans l'équation (Eq,08) :

Équation 14

$$VIT_{PA} = VIT_{Percentage} * VIT_{Commerce} * VIT_{transport}$$

- Calculer l'empreinte CO₂ des villes en multipliant le Vecteur d'Intensité Total (VIT) dans le prix d'achat par le vecteur de demande finale urbaine dans le prix d'achat comme mentionné dans (Eq,09) :

Équation 15

$$EA = F * y$$

Où :

EA: Empreinte CO₂ à l'échelle de la ville,

F: Vecteur d'intensité totale en prix d'achat,

y: Demande finale de la ville (EDM) en prix d'achat.

5.4.2. Agrégation et visualisation des résultats

Pour la clarté et la visualisation, les émissions directes et en amont de CO₂ ont été regroupées en quatre catégories : l'**industrie**, le **bâtiment** (résidentiel et tertiaire), les **transports** et l'**agriculture**. Pour les émissions en amont, les secteurs d'Eora ont été agrégés pour correspondre aux catégories d'émissions directes comme suit :

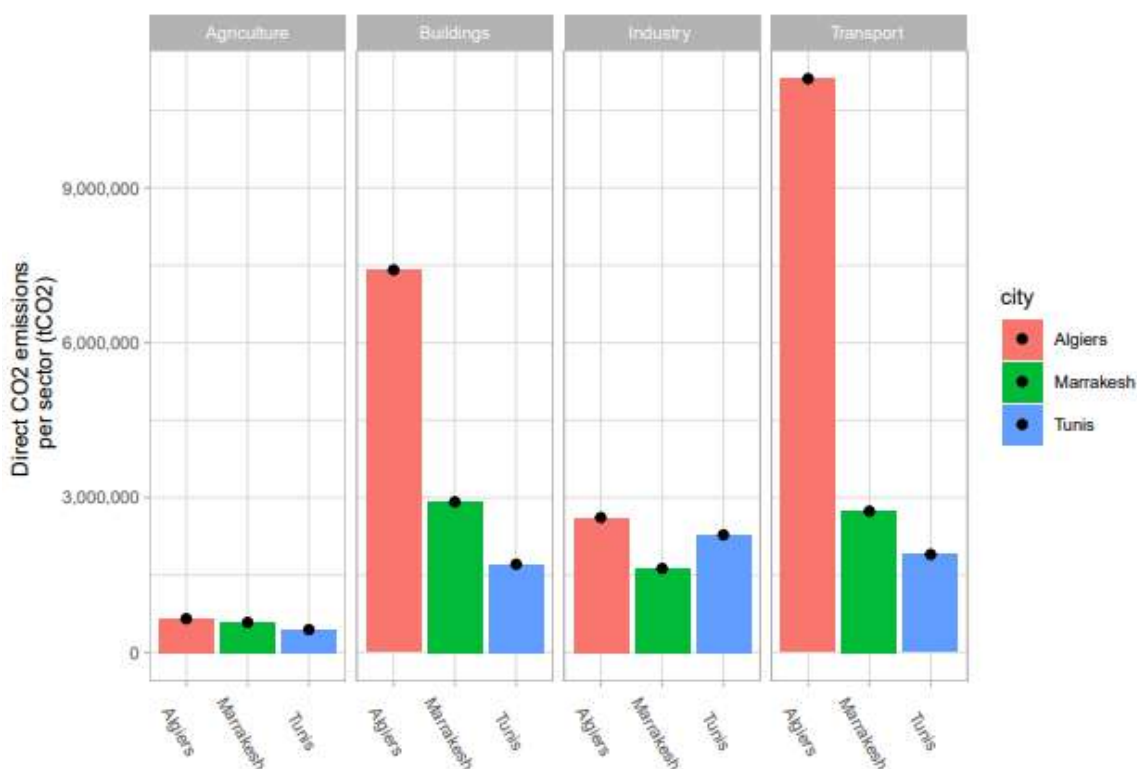
- *Agriculture* : (agriculture) ;
- *Transport* : (Matériel de transport et Transport) ;
- *Bâtiments* : (électricité, gaz et eau, construction, entretien et réparation, ménages privés, éducation, santé et autres services) ;
- *Industrie* : (textile et habillement, bois et papier, produits métalliques, autres industries manufacturières), en tenant compte de l'industrie locale dans les trois pays.

4.6 Résultats :

Pour mieux illustrer les émissions géographiques, dans cette parité, nous avons inclus Tunis et Marrakech afin de mieux analyser les émissions carboniques d'Alger, mais également de

procurer une recherche comparative entre les trois villes histoire de faire émerger les ressemblances quant aux sources carboniques.

Figure 39 : Émissions de carbone dans la région du Grand-Maghreb en fonction du secteur de consommation.



Source : Auteur, 2019.

Il est clair qu'Alger est considérée comme une ville de principale importance avec un bilan carbone le plus lourd de la région du "Grand Maghreb", étant donné que la ville a été classée par le World Gazetteer en 2010 parmi les plus grandes villes du monde, ce qui en fait la plus grande ville de la région de l'Afrique du Nord (GM uniquement). Les résultats (Fig.39) montrent qu'Alger est en position dominante par rapport à Marrakech et Tunis en ce qui concerne le classement des émissions directes de CO₂. Les émissions territoriales d'Alger représentent 2,5~fois plus que celles de Marrakech-Safi et 3,4 fois celles du Grand-Tunis. Néanmoins, la composition sectorielle des émissions directes montre que la principale source d'émissions directes dans les trois régions métropolitaines GM est : Transport (51% pour Alger, 34,5% pour Marrakech et 30% pour Tunis) et Bâtiments (34% pour Alger, 37,1% pour Marrakech et 27% pour Tunis). En effet, le développement urbain dans les trois métropoles est, majoritairement, basé sur la croissance urbaine conduisant à l'augmentation des trajets quotidiens et à l'augmentation de la distance parcourue ainsi qu'au prix du carburant qui favorise les déplacements, ces facteurs ont conduit à une augmentation de la consommation énergétique et, par conséquent, les émissions directes de CO₂. En fait, comme l'a déjà

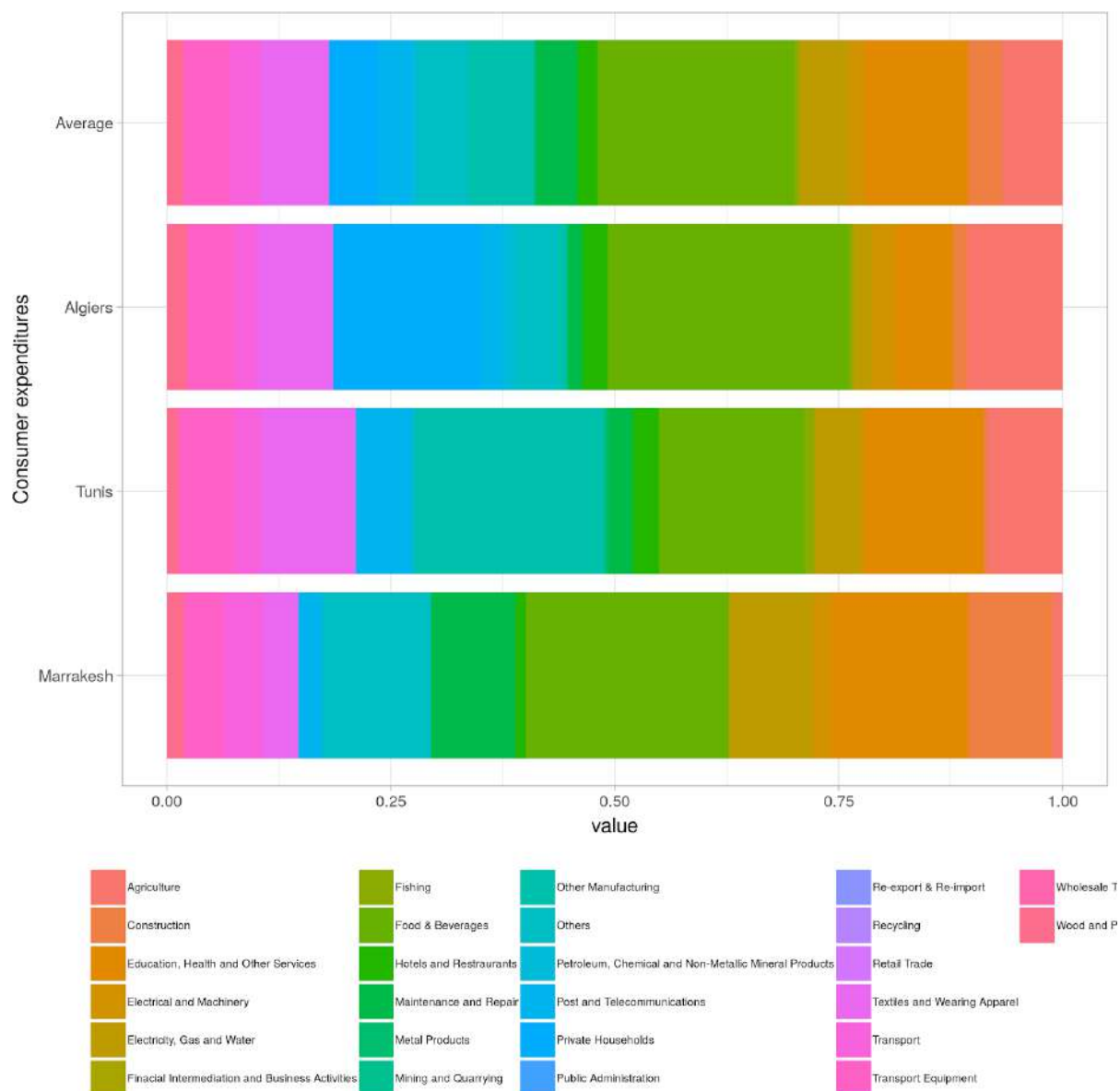
mentionné M. D. Gupta (2014), " *ce n'est pas l'urbanisation qui est à l'origine des émissions de carbone urbaines, mais plutôt la façon dont les gens se déplacent à l'intérieur des villes*". Les émissions liées aux bâtiments sont principalement liées à la consommation d'énergie fossile dans les ménages, à noter que même l'électricité utilisée dans le secteur du bâtiment est produite par des combustibles fossiles (pétrole et gaz naturel).

De nombreuses similitudes dans les émissions territoriales au sein de ces trois régions métropolitaines peuvent être trouvées, la figure 39 montre qu'elles ont le même ordre de grandeur qui crée un modèle '*pattern*'. Ce modèle pourrait être appréhendé par les mêmes caractéristiques urbaines étant donné que les trois régions partagent la même culture, la même religion, les mêmes caractéristiques urbaines, avec un ordre de gravité différent : forme urbaine, PIB par habitant, taux de croissance démographique, densité, degré-jour de chauffage (HDD), degré-jour de refroidissement (CDD), prix de l'essence, structure par âge, taille des ménages, taux d'urbanisation. Les résultats (Fig.40) montrent que, dans les trois régions métropolitaines, deux secteurs (avec un ordre d'importance transcendant) pourraient être très pertinents pour faire face aux défis climatiques afin de déclencher des actions de mitigation à l'échelle des villes : le transport et le bâtiment.

5.5.1. Composition structurelle des dépenses annuelles des consommateurs urbains

Comme le montre la figure 40, les dépenses annuelles de consommation des ménages urbains de Grand-Alger, les dépenses annuelles moyennes par personne s'élevaient à 103 137,7 dinars algériens (3 692,7 \$) avec 27% des dépenses en "*Alimentation & Boissons*" qui représentaient l'essentiel des dépenses à Alger, suivies par l'agriculture avec 10%. Pour le Grand-Tunis, la dépense moyenne par personne s'élevait à 3 204,61 dinars tunisiens (2 210 dollars), dont 21% pour les "*Autres industries manufacturières*", 16,26% pour "*Alimentation et boissons*" et 13% pour "*Éducation, santé et autres services*". Pour la région de Marrakech-Safi, la dépense annuelle moyenne par personne s'est élevée à 10 998 dirhams marocains (1 309 \$) avec 22,6% des dépenses en "*Alimentation & Boissons*" de dépenses annuelle, suivies par "*Éducation, Santé et autres services*" avec 15,27% et "*Autres*" avec 12,5%.

La figure 40 montre que les trois régions métropolitaines ont presque le même schéma d'achat de biens et services. Ceci met l'accent sur le fait que les citoyens de ces trois villes dépensent de l'argent sur les mêmes biens et services de base qui sont les "*Alimentations et Boissons*" avec une part de 22% des dépenses totales, suivis par "*Éducation, Santé et autres services*" avec 11,5% et "*Autres industries manufacturières*" avec 7,4%.

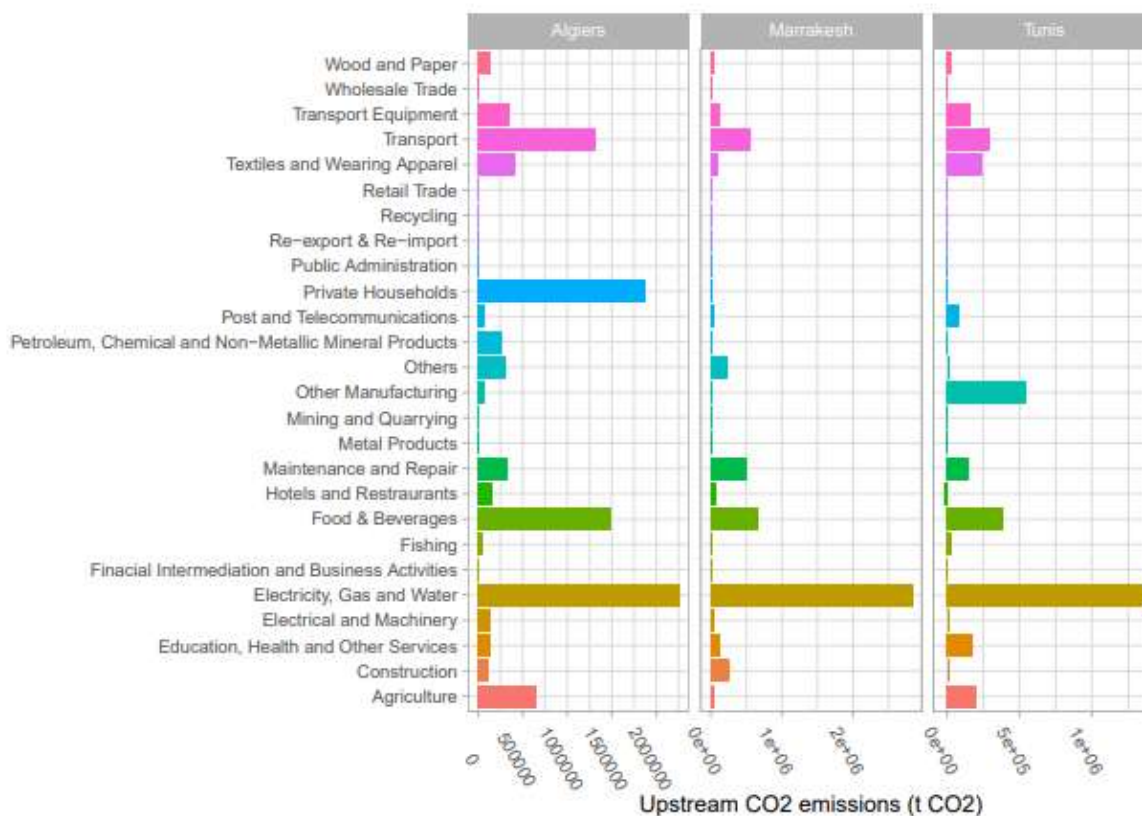
Figure 40 : Dépenses en fonction des secteurs économiques prodigués par Eora.

Source : Auteur, 2019.

5.5.2. Résultats des émissions en amont pour Alger, Tunis et Marrakech

Dans la composition sectorielle des émissions indirectes de CO₂ dans les trois régions, nous constatons, selon la figure 41, qu'il y a trois secteurs qui ne sont pas produits localement, tels que tous les pays en développement et toutes les villes africaines également, qui sont ceux dont les émissions en amont sont les plus élevées : (i) Électricité, Gaz et Eau (Bâtiments), (ii) Alimentation & Boissons et (iii) Transport, avec une part moyenne de (i) 22,17%,(ii) 14,73%, (iii) 16,64 au Grand-Alger, (i) 50,26%, (ii) 11,54%,(iii) 12% pour Marrakech-Safi et (i) 36,70%, (ii) 12,57%, (iii) 10,41% pour le Grand Tunis. En effet, l'analyse des dépenses de consommation urbaine dans ces trois métropoles et des émissions en amont montre quelques anomalies indépendamment des deux secteurs, d'une part, le secteur de "Aliments et boissons"

qui représente la part la plus importante des dépenses de consommation (moyenne : 22%). En revanche, le secteur "*Gaz, électricité et eau*" représente la part la plus importante des émissions totales de CO₂ (moyenne : 33%). Cependant, les dépenses de consommation de ce secteur "*Gaz, électricité et eau*" ont représenté dans ces trois villes 9% pour Marrakech, 5% pour Tunis et 2% pour Alger, des dépenses totales de chaque métropole. Cela peut s'expliquer par le type d'utilisation finale d'énergie dans les ménages, qui est principalement la consommation à base de combustibles fossiles, et la durée des CDD et HDD d'une région à l'autre. Par ailleurs, la part globale des dépenses *Alimentation & Boissons*" s'explique par l'incapacité de ces trois régions métropolitaines d'Afrique du Nord à répondre à la demande alimentaire et à assurer la sécurité alimentaire de leurs citoyens, ceci dit, ces régions font appel au marché international pour fournir des aliments et matériaux afin de satisfaire la demande locale. Néanmoins, selon la figure 41, on constate que les trois régions métropolitaines ont les mêmes schémas d'émissions de CO₂ en amont, ce qui signifie que toutes les villes du Maghreb sont caractérisées par le même comportement d'achat urbain. On peut aussi généraliser que les sociétés à faibles revenus dépensent de l'argent pour des biens de base tels que l'alimentation, les transports, et des services de base tels que l'éducation, la santé et les outils de la vie quotidienne, autrement dit, les citoyens de la région du Grand-Alger achètent presque les mêmes produits qui sont vendus dans la région du Grand-Tunis ou Marrakech-Safi. Cette remarque a permis d'identifier certains biens et services dans lesquels des efforts d'atténuation devraient être entrepris.

Figure 41 : Émissions carboniques indirectes par chaque zone urbaine et chaque secteur économique.

Source : Auteur, 2019.

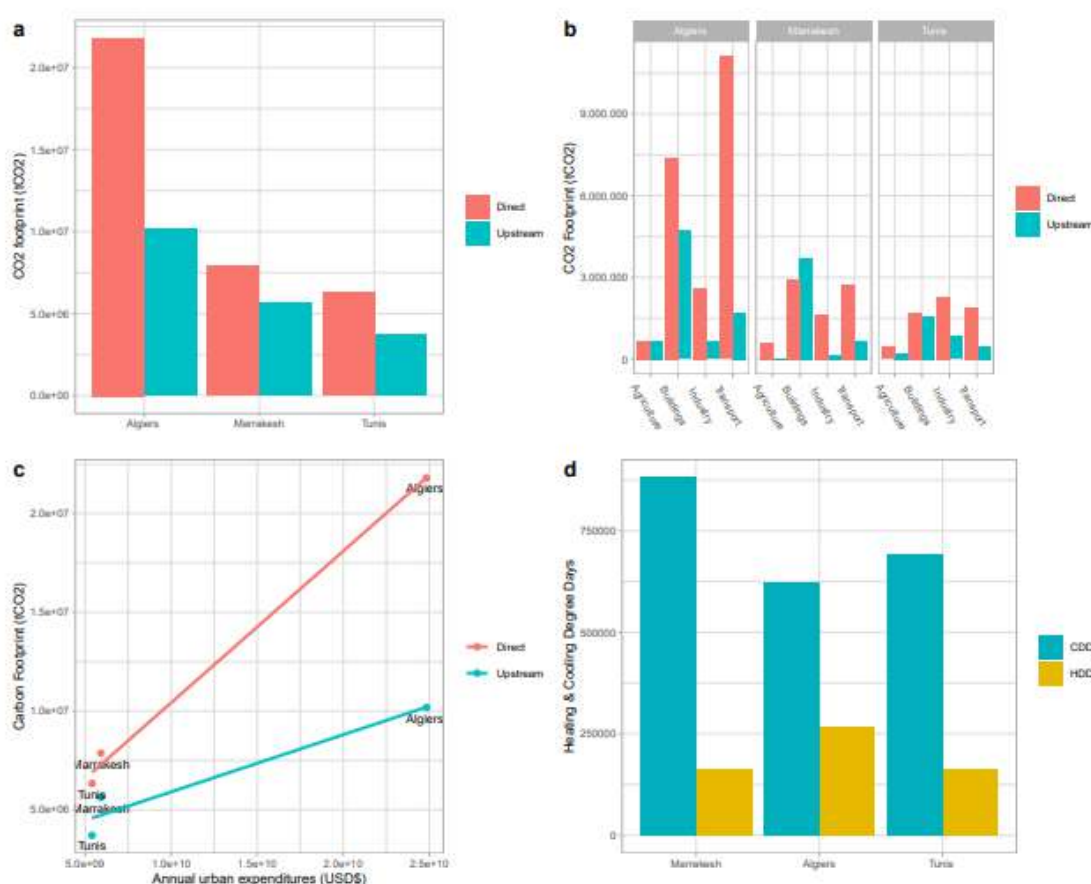
4.7 Discussions

Le calcul de l'empreinte carbone des trois régions métropolitaines du "Grand Maghreb", consiste à identifier, à l'échelle des villes sélectionnées, les principaux secteurs auxquels des mesures d'atténuation peuvent s'adresser. Cependant, contrairement à la "responsabilité du producteur", la "philosophie de la responsabilité du consommateur" pourrait être la seule voie que les sociétés modernes devraient s'efforcer de suivre pour faire face aux nouveaux problèmes environnementaux contemporains dont le changement climatique. Cette philosophie met l'accent sur le fait que le consommateur qui achète des biens ou des services assume la responsabilité ultime des impacts environnementaux.

En faisant référence à la figure.40, on constate que les émissions indirectes représentent 38,25% pour le Grand-Alger, 58,33% pour Marrakech-Safi et 50,53% pour la Grande-Tunis. En d'autres termes, les politiques d'atténuation des émissions en amont à Alger sont probablement plus importantes que les émissions directes dans le cas de Marrakech-Safi et de Grand-Tunis, car pour ces deux régions métropolitaines, les émissions directes et indirectes sont du même ordre de grandeur. Nous constatons également que les mesures d'atténuation seront efficaces et devraient se concentrer sur le secteur du bâtiment, qui caractérise

l'ensemble des trois aires métropolitaines étudiées. De plus, ces résultats remettent en question deux hypothèses principales liées à l'échec de la gestion urbaine, la première peut concerner l'utilisation des combustibles fossiles dans ce secteur, et la seconde peut mettre en évidence le type de matériaux utilisés dans la construction, mais aussi l'échec des initiatives et programme d'efficacité énergétique qui ont déjà commencé depuis longtemps dans ces trois pays. De nombreuses similitudes peuvent être trouvées en comparant les émissions territoriales et les émissions en amont entre les trois métropoles, plusieurs secteurs représentent une part disproportionnée des émissions en amont. Selon la figure 42, on constate que la part des émissions en amont par secteur est très différente d'un secteur à l'autre, mais pas d'un pays à l'autre, ce résultat souligne que ces trois régions ont le même schéma de consommation urbaine mais avec une structure économique différente. Ainsi, la figure.41.c traduit que les émissions urbaines de carbone sont liées aux dépenses urbaines, en d'autres termes, lorsque les dépenses augmentent, l'empreinte carbone augmente également.

Figure 42 : Evaluation des émissions de carbone pour les trois grandes villes du Grand-Maghreb.



Source : Auteur, 2019.

Cette recherche a pour objectif essentiel d'identifier les secteurs urbains clés pour des actions de mitigation pour les trois régions métropolitaines. Afin de refléter la nature comparative, les émissions directes et indirectes ont été évaluées par personne (par habitant).

En effet, on constate que les émissions indirectes de la région du Grand-Alger représentent 46,6% des émissions directes, alors que pour la région Marrakech-Safi, cette part représente 72% des émissions territoriales totales, et pour la région Grand-Tunis, cette part représente 58,3%. Ces résultats montrent qu'il est vrai qu'un habitant de la région du Grand-Alger émet près de deux fois plus que l'habitant qui vit à Marrakech - Safi ou 1,5 d'une autre personne vivant dans la région du Grand Tunis (tableau 19). Néanmoins, il est important de souligner que les émissions indirectes résultant de la consommation quotidienne de biens et services urbains d'une personne vivant au Grand-Alger ne sont pas du même ordre de grandeur que celles émises par une personne vivant à Marrakech-Safi ou dans la région du Grand-Tunis. En d'autres termes, si les autorités locales et les décideurs politiques urbains s'engagent à entreprendre des efforts d'atténuation dans le contexte urbain, il serait approprié que des mesures d'atténuation des émissions directes (territoriales) soient envisagées dans le cas de la région du Grand-Alger, tandis que pour les deux autres villes, les émissions indirectes sont à la même longueur d'onde que les émissions directes, dans le cas de Marrakech Safi (qui représente 1/4) et Grand-Tunis (qui représente plus de la moitié des émissions directes).

Tableau 17: Bilan carbone par habitant des aires métropolitaines du Grand-Maghreb.

Région du Grand-Maghreb	Emissions directes de CO ₂ par personne (tCO ₂)	émissions indirectes de CO ₂ par personne (tCO ₂)	Percentage
Grand Alger	3.24	1.51	46.6%
Marrakech - Safi	1.72	1.24	72%
Grand Tunis	2.59	1.51	58.3%

Source : Auteur, 2019.

Conclusion

Plonger aux enjeux du changement climatique requiert que les flux d'énergie et de matières premières dans l'environnement urbain doivent être analysés en profondeur. À cet égard, pour atteindre les objectifs fixés par les pays du Grand-Maghreb (Algérie, Maroc et Tunisie) au sein de leurs Contributions Déterminées au niveau National (CDN) soumis en 2015 à la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique (CCUNCC), les parties prenantes doivent s'appuyer sur l'Empreinte Carbone (FC) permettant d'identifier les secteurs-clés auxquels des mesures de mitigation devraient être entreprises. Le travail présenté dans ce chapitre vise à évaluer l'empreinte carbone de trois zones métropolitaines d'Afrique du Nord à l'aide d'une analyse d'Entrées-Sorties élargie environnementalement (EE-IOA) qui calcule les émissions directes de carbone dans les zones géographiques des villes, ainsi que les émissions en amont liées à la vente et l'achat de biens et services sur le marché économique mondial.

L'étude met l'accent sur la répartition des responsabilités des consommateurs finaux en fonction de chaque secteur au sein des trois régions métropolitaines. Toutefois, les résultats suggèrent que dans le cadre de la *"philosophie de la responsabilité du consommateur"*, les autorités locales doivent encourager les pratiques *«d'achat vert»*, en particulier pour les aliments et les boissons, selon les comportements des acheteurs pour la région de Marrakech-Safi et la Grand-Tunis, tandis que les efforts d'atténuation doivent se concentrer sur les émissions directes dans le secteur du transport pour le cas du Grand Alger.

Ce chapitre veut affirmer que faire face au changement climatique ne devrait pas être un problème d'une seule partie du monde (non seulement pour les pays développés, mais aussi pour les pays en développement), qui n'a ni de période d'expiration suivant les cycles politiques ni de cadres économiques (entre : pro-croissance et développement économique).

Troisième partie : Réanimation de la pensée urbanistique algéroise par le biais de la Capacité de Charge Carbone (C³) : Théorie des systèmes complexes

Chapitre V : L'approche systémique : Une approche holistique

*« Connaître, c'est agir sur l'objet en l'assimilant à un schéma » le
Moigne, 1994.*

Introduction

Au-delà de l'analyse cartésienne des sciences classiques, l'approche systémique est mieux adaptée afin de modéliser la complexité des systèmes contemporains, en identifiant leurs éléments et en symbolisant leurs interactions, leurs connexions et leurs imbrications. Cette nouvelle logique aura permis d'élaborer une vision stratégique beaucoup mieux contextualisée, et mettre en relief des actions durables mieux adaptées aux préoccupations actuelles, notamment celles relatives aux changements climatiques. Elle connaît plusieurs mutations en passant par (i) la philosophie, (ii) l'analyse cartésienne (iii) la cybernétique, et (vi) la systémique. Cette nouvelle représentation de la réalité prend en compte l'*instabilité*, l'*ouverture*, la *fluctuation*, le *chaos*, le *désordre*, le *flou*, la *créativité*, la *contradiction*, l'*ambiguïté*, le *paradoxe* (AFSCET 2014). Tous ces facteurs étaient considérés comme *a-scientifique* pour l'approche classique cartésienne, aujourd'hui, ils trouvent leur place légitime pour pouvoir comprendre la complexité du monde et de son fonctionnement. Cette doctrine a donné, par la suite, la naissance aux SHC (*systèmes hyper complexes*) tels que les villes ; Or, ce sont précisément les méthodes de modélisation (y compris la méta-modélisation) qu'il importe aujourd'hui de développer à nouveau quand nous examinons les systèmes complexes.

6.1. Approche, représentation et modélisation systémique

L'approche systémique fait l'objet de plusieurs définitions, selon les finalités de chaque auteur, ils insisteront tantôt sur un aspect, tantôt sur un autre vu qu'elle n'a pas une définition précise. Nous avons choisi cette définition qui est un peu exhaustive :

« L'approche systémique articule et produit une pensée qui donne à comprendre le fond des choses dans ses largesses et usages. Cette méthode ne renonce pas, ne découpe pas, ne trie pas pour représenter. Elle autorise au contraire à entrer dans la globalité pour la voir et la décoder dans toute l'ampleur qu'elle offre. Elle disqualifie le spécialiste au profit d'un genre plus souple, plus ample qui articule ce qui est séparé et relié ce qui est disjoint. Une méthode qui détecte les liaisons, attaches, articulations, solidarités, implications, imbrications, interdépendances, complexités » (Izoland 2004).

Elle est définie par l'Association Française des Sciences des Systèmes Cybernétiques, Cognitifs et Techniques AFSCET (Donnadieu et al. 2003) comme étant « *une nouvelle discipline qui regroupe les démarches théoriques, pratiques et méthodologiques, relatives à l'étude de ce qui est reconnu comme trop complexe pour pouvoir être abordé de façon réductionniste, et qui pose des problèmes de frontières, de relations internes et externes, de structure, de lois ou de propriété émergentes caractérisant le système comme tel, ou des problèmes de mode d'observation, de représentation, de modélisation ou de simulation d'une totalité complexe* ».

Selon (AFSCET, 2014), la systémique se veut comme l'alliance indissoluble entre **savoir** et **pratique**. À la suite de ce raisonnement, nous pouvons tirer deux idées :

- La systémique, concepts et savoirs ; et
- La systémique, pratique et apprentissage.

6.2. Genèse de l'approche systémique

L'approche systémique est née à la fécondation de plusieurs disciplines dont la biologie, la cybernétique, l'informatique, et bien à d'autres disciplines, depuis lors ses frontières n'ont pas été éclairées.

C'est au XX^e siècle que le mot *système* connut son apparition, cependant, l'étude formelle des systèmes apparut dans le XIX^e siècle avec l'apparition de l'industrie, dans ces circonstances, les notions de *régulation* et de *contrôle* (des machines sans risque) furent conceptualisées. À la fin de ce siècle, l'intégration des sciences humaines de cette approche notamment l'holisme en sociologie, malgré les difficultés rencontrées dans l'application de la cybernétique sur les groupes sociaux, Karl E. Wieck et P. Checkland dans les années 1970 fondaient les bases d'une "*système de troisième génération*" entièrement axée sur le système social. Dans la moitié du XIX^e siècle, Luding Von Bertalanffy théorisa le fonctionnement des systèmes biologiques. Sous l'impulsion de Norbert Wiener la *Cybernétique*⁴⁴ en tant qu'une théorie de la communication dans les années 1940, qui donna naissance à l'électronique, la robotique et l'informatique, voire même l'intelligence artificielle (Turchany 2008).

L'Abbé Étienne Bonnot Condillac (1715-1780) a notamment écrit un ouvrage intitulé « *Traité des Systèmes* » (1749), cet ouvrage dresse tout un cadre de ce qui va devenir l'approche systémique. Par la suite, l'économiste Vilfredo Pareto introduisait en 1906, dans l'un de ses

⁴⁴ La première idée de la Cybernétique —Marvin Minsky — traita comment un système peut atteindre l'homéostasie (morphostase), alors que la deuxième idée de la cybernétique consista à observer comment un nouvel équilibre peut émerger d'une situation déséquilibrée (morphogenèse). Elle peut être définie comme la science des systèmes auto régulés, Wiener envisage cette logique via un triple idéal : (i) reconnaître la structure et l'état interne de la machine ou l'animal, (ii) décrire les relations entreprises avec l'environnement et (iii) prévoir le comportement et l'évolution dans les temps.

ouvrages d'économie politique « *manuel d'économie politique* », la notion de théorie systémique, mais à vrai dire, c'est la cybernétique qui fonde le soubassement rigide de la théorie des systèmes.

Entre 1913-1920, A. Bogdanov a publié à Moscou les trois tomes d'une *Science universelle de l'organisation*, ou *tectologie* qui semblent être reconnus aujourd'hui comme le premier traité complet de système général, autrement dit, les livres sacrés de la systémique (Le Moigne 1994).

Norbert Wiener (enseignant au MIT, en 1948) publia son ouvrage intitulé « *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine* », c'est là où nous assistons à l'émergence du concept « *la boîte noire* » qui consista à examiner le comportement d'un système plutôt que son fonctionnement (Wiener 1965).

Quant à Bertalanffy, dans son ouvrage intitulé « *la théorie générale des systèmes* » (Bertalanffy 1973), considère que les éléments d'un système donné sont en processus évolutif (d'une manière non-linéaire, aléatoire : *théorie de l'évolution*). Dans cette philosophie nous pouvons identifier trois niveaux d'analyse :

- **La science des systèmes** : qui consiste à mettre en relief que l'identification et l'analyse des éléments ne suffit pas pour comprendre la fonction d'un système dans son holisme, il faut donc repérer les relations entre les modules. Bertalanffy s'attache à mettre en lumière les traits de correspondances et de l'isomorphisme ;
- **La technologie des systèmes** : concernent les propriétés matérielles et les modalités de développement des logiciels, les problèmes techniques, notamment, dans l'organisation et la gestion des phénomènes complexes (pollutions écologiques, régulation monétaire, etc.) qui sont considérés comme des problèmes incluant un grand nombre de variables et interactions, nécessitent une *théorie globale* qui sera apte pour décrypter cette complexité (théorie de la Cybernétique, de l'information, des jeux de la décision, de circuits et d'attente, etc.) peuvent symboliser cette complexité; et
- **La philosophie des systèmes** : selon Von Bertalanffy, la théorie des systèmes se veut comme « *une nouvelle philosophie de la nature* » opposée au paradigme analytique et mécaniste des sciences classiques (l'approche cartésienne). Elle considère le monde comme *une grande organisation*. Cette philosophie vise notamment à distinguer entre *les systèmes naturels* (galaxie, chien, cellule) et *systèmes conceptuels* (théorie logique, mathématique) qui sont des constructions symboliques (systèmes abstraits).

Selon Dr. Guy Turchany, la pensée *systémique* a connu deux phases de métamorphose, à savoir :

- **La première utilisation de la systémique** (née notamment du structuralisme, de la cybernétique, de la théorie de l'information et de l'analyse des systèmes de Bertalanffy) paraît durant les années 1950, elle est centrée majoritairement sur les concepts de *structure*, d'*information*, de *régulation*, d'*holisme* et d'*organisation*. Tandis que ;
- **La deuxième utilisation de la systémique** remonte aux années 1970 et 1980, elle intègre, désormais, deux autres concepts clés essentiels : la *communication* et l'*auto-organisation* (autonomie), cette nouvelle vision de la systémique ouvre la porte à la notion des systèmes ouverts et leurs capacités de s'auto-organiser, à savoir qu'il existe déjà la propriété d'auto-organisation dans le monde physique comme Prigogine l'a montrée avec *les structures dissipatives* (Prigogine and Lefever 1973).

À la suite de l'utilisation intensive de cette idéologie dans la majorité des disciplines, elle acquit une nouvelle allure, et donna plus tard naissance à la *bionique* et à l'*intelligence artificielle* durant les années 1959 avec Warren McCulloch.

6.3. L'approche systémique : But et finalité souhaités

L'approche systémique est appliquée dans le but d'expliquer des situations confrontées et généralement jugées complexes, compliquées et qui se présentent sous différentes natures. L'approche systémique, quant à elle, se focalise sur l'organisation complexe des éléments ou parties d'un système (processeurs ou modules), c'est-à-dire la composition même de la *complexité*. Cette approche vise les éléments principaux de cette complexité qui sont les interrelations ou connexions internes et externes. D'après le Moigne, la systémique se déploie selon quatre volets, dont les buts seraient de (Le Moigne 1994) :

- Développer une théorie explicative de l'univers considéré comme système complexe ;
- Représenter et puis simuler la complexité ;
- Rechercher les concepts, lois et modèles de même forme pouvant s'appliquer à différents ensembles ;
- Schématiser et élaborer les artefacts ou outils.

6.4. Les modes d'application de l'approche systémique

Grâce à son caractère holistique et transversal, l'approche systémique a connu diverses applications notamment en biologie, cette nouvelle vogue se veut comme (Turchany 2008) :

- Une démarche : théorique, pratique et méthodologique ;
- Un outil pratique pour déceler les problèmes relatifs à : l'observation, la représentation, la modélisation, la simulation ;

- Présenter, d'une manière simple et exhaustive, le système : ses frontières, ses relations internes et externes, ses structures, ses lois ou propriétés émergentes.

6.5. Les deux visions opposées, l'approche systémique versus l'approche cartésienne

La théorie de système est souvent comparée à l'approche analytique cartésienne (Descartes and Gilson 1987) généralement qualifiée caduque. Le Moigne, dans son ouvrage « *Théorie des systèmes générale, théorie de la modélisation* », y a dédié tout un chapitre intitulé « *Discours de la méthode, l'ancien et le nouveau* ». Bien évidemment, chacune de ces approches emprunte une méthodologie différente de l'autre, elles s'opposent parfois même (Edgar Morin). L'approche scientifique d'inspiration cartésienne insiste sur l'approche expérimentale qui pouvait montrer ses limites à affronter les problèmes complexes du monde réel que nous vivons aujourd'hui, avec leurs pluralités et leurs diversités (Gérard 2005).

Ainsi, chaque discipline, d'ailleurs, ancienne *approche cartésienne* ou nouvelle *approche systémique*, devrait s'interroger sur les modalités d'évaluation et de légitimation des connaissances qu'elle produit et enseigne, ce que J. Piaget appela *critique épistémologique interne* (Le Moigne 1994).

Descartes énonce quatre postulats épistémologiques de l'approche analytique cartésienne : *évidence, réductionnisme, causalisme, exhaustivité*, dans sa part, le Moigne propose les quatre préceptes du *nouveau discours de la méthode* : *pertinence, globalisme, téléologie, agrégativité* (Le Moigne 1994:43) :

- *La pertinence* : Convenir que tout objet que nous considérons se définit par rapport aux intentions implicites ou explicites du modélisateur ;
- *Le globalisme* : Considérer toujours l'objet à connaître par notre intelligence comme une partie immergée et active au sein d'un plus grand tout ;
- *La téléologique* : Interpréter l'objet non pas en lui-même, mais par son comportement, comprendre en revanche ce comportement et les ressources qu'il mobilise par rapport aux projets que, librement, le modélisateur attribue à l'objet ;
- *L'agrégativité* : Convenir que toute représentation est simplificatrice, non pas par oubli du modélisateur, mais délibérément.

5.6. Les concepts fondamentaux de l'approche systémique

L'approche systémique, à l'instar des autres, se fonde sur un soubassement de termes et concepts (Tableau 18), propres à elle, dont elle puise sa force pour représenter une science apte à déchiffrer le monde moderne.

Tableau 18: Principes de la théorie du système.

Concepts	Définition
Invariance des systèmes	Les systèmes sociaux, écologiques, physiques, etc. partagent des traits communs, des régularités, des invariants malgré la diversité des phénomènes d'où il est important de chercher l'isomorphisme des concepts.
Relation et interaction	Le Moigne désigne le système général comme un processeur, qui reçoit des intrants à un instant T ₁ en les transformant via d'autres processeurs les extrants au temps T ₂ , ils sont de nature matérielle ou immatérielle, les possesseurs peuvent se décomposer en processeurs élémentaires (<i>modules</i>). D'où les relations entre les éléments où les processeurs ne sont pas linéaires (telle que l'approche analytique). La relation entre les éléments systémiques sont <i>imprévisibles</i> et <i>inexplicables</i> (Durand, 2002), c'est la relation circulaire ou l'interaction (Bertalanffy 1968). Elle peut s'exprimer par l'intermédiaire des feedbacks ⁴⁵ : une partie d'Extrant est renvoyée à l'entrée comme information pour l'Intrant, ceci afin de diriger l'action du système vers une finalité souhaitée, cette information passe par un centre de décision qui apprécie si une action de régulation doit être entreprise pour amener le système vers sa finalité.
Totalité	Le système devrait être pris dans son holisme qui ne reflète pas la somme de ses parties sur laquelle Von Bertalanffy a notamment beaucoup insisté, mais plutôt la somme de ses deux propriétés <i>sommatives</i> (la somme des propriétés de ces différents éléments) et <i>constitutives</i> (les éléments liant les éléments), Edgar Morin, pour sa part, insiste sur le fait que le tout est aussi « <i>moins et différent</i> » de la somme des parties. Dans la formulation d'un système générale, on représente le système selon trois plans : (i) <i>le plan physique</i> (composantes) (ii) <i>logique</i> (interactions) (iii) <i>holistique</i> (unité indivisible) : le plan holistique émerge lors de l'interaction entre les trois composantes qui constituent le système et lui donnent une finalité,

⁴⁵Rétroaction : un changement dans un système qui se produit en réponse à un pilote, et qui remonte pour contrôler le système. Un retour peut aider à maintenir la stabilité dans un système (rétroaction négative ou équilibrée), ou il peut accélérer les processus et changer dans le système (rétroaction positive ou améliorée). Les processus de rétroaction jouent un rôle très important dans la détermination des seuils du système et dans maintien de la résilience du système (Carson, Peterson, et Strambo 2016).

	mais aussi pour expliquer la signification de ses interactions. Schwarz [1994].
Organisation	Un système pourrait être représenté à la fois par ces éléments structurellement (<i>un organigramme</i>) qui est statique, mais aussi fonctionnellement (<i>par un programme</i>) qui se traduit par un processus dynamique (Loriaux, 1994 ; Durand, 2002). (i) Organisation structurelle : description ontologique du système, ce que le système <i>EST</i>, consistant à identifier les éléments, les interrelations, les équations mathématiques qui définissent ces interrelations et la frontière qui sépare le système de son environnement ; (ii) Organisation fonctionnelle : décrire l'activité du système, <i>d'abord parce qu'il est, mais parce qu'il fait et ce qu'il subit, donc par ce qu'il devient</i> » (Le Moigne 1977, p.65). C'est cette dynamique enduisant la notion du temps T, en modélisant les intrants, extrants et les boucles de rétroactions et matérialisant les rapports du système avec son environnement. Organisation en sous-système, Durand 2002 distingue deux modalités d'organisation : (i) Articulation de modules ou sous-systèmes spécialisés : pour une action ou un thème donné, il y a une connexion entre les modules ; (ii) Hiérarchique : le niveau retenu comme objet d'étude appelé <i>processeur</i> correspondant au niveau descriptif du système, le processeur en question est décomposé en un réseau de processeurs élémentaires suivant une agrégation de plusieurs pour modéliser un seul processeur, le changement d'échelle reflète le passage d'un niveau à un autre (Le Moigne 1977).
Complexité	La complexité renvoie au degré d'organisation générale d'un système <i>irréductible et imprévisible</i> (structurellement et fonctionnellement). À contrario, la logique cartésienne élimine l' <i>aléatoire</i> et l' <i>inconnu</i> (Durand, 2002), la logique systémique intègre tous les éléments qui touchent le système avec leurs diversités et leurs pluralités, la

	complexité renvoie à trois facteurs : (i) la grande variété des éléments d'un système, (ii) organisation de ces éléments en niveaux hiérarchiques (iii) les interactions non-linéaires et le nombre de lésions possibles.
Ouverture des systèmes avec leur environnement	Les systèmes peuvent être considéré comme (Major, 1999) : (i) <i>Système ouvert</i> : ayant la capacité d'échanger avec son environnement (énergie, matière première et information), désigne une relation active. (ii) <i>Système fermé</i> : introduit par la thermodynamique, ce type de système n'échange que de l'énergie, ce qui augmente l'entropie du système. (iii) <i>Système isolé</i> : totalement autonome, aucun échange n'est effectué avec l'environnement.
Evolution	La structure d'un système donné est irréversible dans le temps quand ces changements sont si grands, se suit par un processus historique et donnant naissance à une nouvelle structure. Cette évolution devrait être associée à des boucles de rétroactions positives (un mécanisme régulateur est nécessaire pour éviter que le système se détruise) pour s'évoluer dans un état d'équilibre afin que le changement soit maîtrisé (étalement urbain) ou involontaire et incontrôlé (explosion démographique).
Équifinalité	Ce principe interprète que le même résultat peut être obtenu via des conditions initiales différentes. Dès lors, un même résultat peut s'expliquer par des conditions initiales différentes. Et donc, un système via différents moyens et points de départ pourrait accomplir ses objectifs. C'est sur quoi insista Von Bertalanffy « <i>le même état final peut être atteint à partir d'états initiaux différents, par des chemins différents</i> ». À contrario, le paradigme mécaniciste, pour lequel la bonne connaissance des lois physiques et les caractéristiques des constituants et de leur position exacte à un moment donné, permettrait de déterminer précisément leur position future (à l'opposé de la théorie du chaos) (Gérard 2005).
Hémostasie	Terme biologique, avancé par Walter Cannon en 1932, rendant compte que les organismes vivants tendent à maintenir un état de stabilité interne des composantes (température, teneur en sel, etc.), malgré la variation de l'environnement dans lequel ils s'intègrent. Selon Claude

	Bernard « <i>l'homéostasie est l'équilibre dynamique qui nous maintient en vie</i> ». Attention, cette stabilité n'est donc pas à confondre avec l' <i>immobilisme</i> , notons la proximité avec la notion cybernétique de feedback (Turchany, 2010).
Autonomie, autorégulation	Atteindre une nouvelle stabilité, un nouvel ordre, renvoie au principe de l'auto-organisation, l'une des propriétés des systèmes ouverts, c'est-à-dire que le système s'autoproduit en prenant de l'environnement ce qui lui est nécessaire (Durand, 2002). Selon Schwarz en 1994, le système peut évoluer en trois manières lorsqu'une perturbation extérieure se produit : (i) La perturbation est infime et le système retourne vers son état initial ; (ii) La perturbation est trop importante et le système évolue vers la régression ou la destruction ; (iii) Le système évolue vers un nouveau stade d'organisation et une nouvelle stabilité.

Source : auteur, 2019.

En général, l'approche systémique ne peut se résumer à une simple liste de concepts, parce qu'une liste de définitions ne peut suffire à restituer l'originalité, la spécificité et la portée de sa pensée (Gérard 2005). C'est pour cela que les concepts attachés à l'approche systémique, expliquée ci-dessus, sont seulement proposés dans la perspective d'aider à construire les processus de sa logique holistique, voire écosystémique de la complexité du monde. À savoir que tout le monde, aujourd'hui, ou presque, a recours à la notion de système, il n'en a pas toujours été ainsi.

5.7. Le dogmatisme systémique et le système

5.7.1. Définition d'un système

Le mot *système* se trouve dans de nombreuses disciplines (économie, astronomie, urbanisme, géologie, psychologie, biologie, médecine, etc.) en raison de l'unification et l'aspect intégrateur qu'il peut offrir. On le trouve appliqué au : système solaire, système de ville, système cellulaire, système d'organisme vivant, mais aussi aux objets abiotiques tels que : voiture, vélo, ordinateur, smart phone, entreprise, etc. c'est ce que Von Bertalanffy assura *Systems everywhere* « *les systèmes étaient dans la nature* ». De Rosnay en 1975, nous renseigne que l'approche systémique traite tout ce qu'est du **macroscope** qui permet d'analyser l'infiniment complexe, à contrario, le **microscope** analyse l'infiniment petit et le **télescope** analyse l'infiniment grand (Desthieux 2005:31). Dans ce contexte, « *un système fait*

référence à un assemblage d'éléments fonctionnant de manière unitaire et en interaction permanente ». Dans le tableau 19, nous citons quelques définitions (Turchany 2008) :

Tableau 19: Quelques définitions du mot système.

01	Du point de vue de l'histoire des sciences, un système est une construction théorique que forme l'esprit sur un sujet (ex. une idée expliquant un phénomène physique et représenté par un modèle mathématique).
02	Ensemble de propositions, d'axiomes, de principes et de conclusions qui forment un corps de doctrine ou un tout scientifique (ex. en philosophie : le système d'Aristote, ou en physique : le système newtonien).
03	Ensemble de méthodes, de procédés organisés ou institutionnalisés pour assurer une fonction (ex. système d'éducation, système de production, système de défense).
04	Ensemble d'éléments qui se coordonnent pour concourir à un résultat (ex. système nerveux)
05	Ensemble de divers éléments analogues.
06	Appareillage, dispositif, machine assurant une fonction déterminée (ex. système d'éclairage, système automobile).
07	En termes d'analyse, il s'agit d'un réseau, plus ou moins important et autonome, dont les éléments présentent la particularité de répondre en tout ou en partie à un même objectif.

Source : Guy Turchnay, 2010.

Étymologiquement, le mot système dérive du mot grec *systema* qui signifie *un ensemble organisé* (Gérard 2005). L'utilisation de ce concept a été précisément forgée pour faciliter les appréhensions, voire la compréhension, des processus des systèmes ouverts plutôt que fermés.

Le *système* est défini aussi par Bertalanffy comme étant « *un complexe d'éléments en interaction* ». Or, cette définition est si générale et si vague qu'on ne peut pas en tirer grand-chose (Le Moigne 1994:61). Quant à De Rosnay en 1975, lui, il définit le système comme étant « *un ensemble d'éléments en interaction dynamique, organisé en fonction d'un but* », cette définition nous renseigne sur trois éléments fondamentaux caractérisant un système :

- L'interaction entre les composantes (élément du système) variées et multiples ;
- La dynamique dans un état stable (équilibre) ; et
- L'organisation structurée suivant un objectif et visant une finalité.

Selon le Moigne un système est «un objet qui, dans son environnement, doté de finalité, exerce une activité et voit sa structure interne évoluer au fil du temps sans qu'il perde pourtant son identité unique». Il est aussi défini par Watzlawick, comme «un ensemble d'objets et les relations entre ces objets et entre leurs attributs, les objets sont les composants ou éléments du système, les attributs sont les propriétés des objets et les relations ce qui fait tenir ensemble le système».

Le Moigne de sa part propose, de façon plus triviale, mais peut-être aussi plus mnémonique (Gérard 2005) que le système se stimule autour de ces cinq points :

- Quelque chose (n'importe quoi, présumé identifiable) qui dans quelque chose (environnement) ;
- Pour quelque chose (finalité ou projet) ;
- Fait quelque chose (activité = fonctionnement) ;
- Par quelque chose (structure = forme stable) ;
- Qui se transforme dans le temps (évolution).

Selon Schwarz en 1999, cette approche se déploie en trois volets (Desthieux 2005:32) :

- *Contextualiser* : exprimer la nature ontologique ;
- *Comprendre* : l'évolution et le mécanisme des systèmes ;
- *Agir* : évaluer l'incidence de l'approche systémique sur l'intervention dans les systèmes humains, sociaux et écologiques.

Par ailleurs, un système est étudié dans son contexte, à travers :

- Les caractéristiques de ses composantes/organisations (cycle, changement, équilibre, évolution, rupture, explosion, etc.) ;
- Relation (connexions entre les éléments, interaction extrants/intrant, etc.) ;
- Flux (énergie, matière, information, etc.).

Edgar Morin dégagait le caractère central du concept et son potentiel de description, en lui prodiguant une définition opérationnelle et fortement argumentée *la capacité d'un système, à la fois, à produire et se produire, relier et se relier, maintenir et se maintenir, transformer et se transformer*. Cette construction permet de mettre en relief trois modes de représentations d'un système :

- Celui de l'action « *dans* » (les transactions, constitutive de l'eco-organisation) ;
- Celui de l'*équibration* (l'auto-organisation) ; et

- Celui de la *transformation* (la ré-organisation).

Le concept du système est relativement moderne qui date des années 1940, il se compose de quatre concepts fondant sa compréhension (Turchany 2008) :

- L'interaction renvoie à l'idée d'une causalité non linéaire ;
- La totalité ;
- L'organisation (*organisation en modules* —sous-systèmes : un système intègre un autre, *organisation hiérarchique* : produit de nouvelles propriétés à chaque niveau supplémentaire) ; et
- La complexité : renvoie à trois facteurs (i) le degré d'organisation d'un système (ii) l'incertitude de l'environnement et (iii) l'impossibilité d'identifier toutes les relations internes entre les modules.

La description d'un système se fait sur la base des quatre aspects (les limites, les composantes, réseaux de relations et stocks —réservoirs —).

Vu que le système est une entité changeante, nous pouvons déduire deux familles d'objets métamorphose : *l'objet changé* (processé) et *l'objet changeur* (processus) (Le Moigne 1994:90). Soit qu'il s'agisse de matière, d'énergie ou d'information, l'hypothèse dans le temps implique une vision dichotomique : les processus d'une part, les processeurs de l'autre, les contenus et les contenants, les actionnés et les acteurs.

5.7.2. Les typologies des systèmes

Il existe différentes typologies de systèmes dans un référentiel *Temps-Espace-Forme*. Ce référentiel triadique se manifeste via *stockage* (ou d'une mémorisation), *transport* (ou d'une communication) et *transformation* (ou d'un traitement) ou une combinaison de ces trois éléments (Le Moigne 1994:91). Nous citons deux :

Jacques Lesourene, dans « *les systèmes du destin* », distingue quatre typologies :

- ***Système à état*** : entrées-sorties sans régulation interne, ex : moteur d'une voiture ;
- ***Système à but*** : régulation interne intégrée, capacité d'atteindre des objectifs, ex : chambre à thermostat ;
- ***Système à apprentissage*** : incluant une mémoire, mécanisme de calcul, capacité de réponse (prise de décision) en fonction des données enregistrées, c'est à ce niveau que la capacité d'auto-organisation d'un système devient tangible, ex : experts en stratégie militaire (sur la base erreurs-corrections) ;
- ***Système à décideurs multiples*** : amplification de la sphère intégratrice des acteurs (niveau d'organisation hiérarchique) résultat complexe, ex : société.

Le Moigne, dans « *théorie générale du système* », propose quant à lui, trois types de systèmes :

- ***Système machine*** : qui renvoie à la mécanique et à l'ingénierie ;
- ***Système vivant et artificiel complexe*** : processus de mémorisation, centre de décision, et coordination (pilotage) ;
- ***Système humain et social*** : l'apparition de l'intelligence (capacité de traiter l'information) permettant une auto-organisation et finalité sélectionnée d'une manière autonome.

Un système est en général actif, stable et évoluant dans son *environnement* et par rapport à sa *finalité*. Cette théorie peut être exposée au moyen de trois concepts fondamentaux logiquement liés : *processus, structure et fonction*.

Un objet est défini en tant que système, il faut qu'il réponde à neuf étapes, chacune positionnée sur un référentiel Espace-Temps-Forme :

- Doté de frontière définie, identifiable ;
- Actif, subissant un processus des entrées et produisant des sorties ;
- Possédant un mécanisme de régulation interne (en quantité et en qualité) de ses entrées et de ses sorties ;
- S'informant en interne (ce qui découle obligatoirement des mécanismes de régulation) afin de piloter ses régulations ;
- Décidant de son activité, de ses comportements, et dotée de projet, c'est-à-dire dotée d'un espace de comportements et d'activités ;
- Doté de mémoire et mémorisant, et ce, au moins à deux niveaux :
 - Une *mémoire volatile* lui permettant de traiter ses informations ;
 - Et si le système est auto-organisateur, une *mémoire durable*, lui permettant d'emmagasiner ses expériences et d'en apprendre ;
- Coordonnant des processus, ses fonctionnements et ses activités (notamment l'informationnel, le décisionnel et l'opérateur) dans le cadre de ses finalités ;
- Capable de raisonner et de computer les symboles mémorisés et capable d'imaginer et de s'auto-organiser (dans le cadre d'une auto -éco-réorganisation) ;
- Capable de s'auto-finaliser, de s'adapter et s'évoluer.

5.8. La représentation systémique

L'application du concept *système* à l'appréhension des ensembles a vu plusieurs perceptions en économie, en biologie et dans le management, en aménagement et en urbanisme et bien à d'autres disciplines, la démarche vise à la formalisation de la réalité et sa dynamique ainsi que ses interactions par un processus de modélisation, parfois, nous parlons même de la *systémographie* qui tente tant bien que mal de représenter la dynamique des systèmes non-linéaires.

L'approche systémique traduit une méthodologie de représentation et de modélisation d'un objet (système) ayant des éléments en interaction et évoluant vers une finalité. La modélisation suivant cette approche vient compléter les techniques analytiques, dans le but de produire une étude pertinente sur l'objet en question. Cette étude sera orientée selon la nature des actions à entreprendre.

Une représentation systémique pose en principe trois niveaux logiques :

- Les environnements du système ;
- Le système en lui-même, à partir de ses frontières ;
- Ses composantes internes (sous-systèmes ou processeurs).

En effet, pour représenter un système perçu à la fois *actif, stable et évoluant morphologiquement*, il faut différencier trois niveaux relativement autonomes (Le Moigne 1994:190) :

- *Système organisé* : ce modèle soulève bien les descriptions synchroniques, ou cinématiques. Souvent, nous réduisons le modèle du système à un seul schéma de *l'organisation organisée* via une structure figée pilotant son activité ;
- *L'organisation organisante* : favorisant une représentation diachronique ou morphogénétique du système. Contenant des processeurs par lesquels le système se transforme lui-même. Pouvoir s'auto-organiser et donc possibilité de transformation ;
- *Couplage* : ce troisième niveau se situe entre l'organisé actif et l'organisant transformant l'organisé, ce couplage est assuré par un système de mémorisation propre à l'organisation et pourtant autonome et différentiable.

À savoir que la théorie de l'organisation se fonde sur trois types d'organisation, commencée par *l'organisation stabilisée* en correspondance avec le système opérant, *l'organisation organisante* en correspondance avec le système de décision, *l'organisation mémorisant* en correspondance avec le système d'information.

Il faut mettre en relief qu'un système donné ne s'équilibre pas par rapport à un environnement, il évolue avec lui à l'aide des interactions dialectiques permanentes. Cette vision amorça l'émergence du concept *co-évolution*.

5.9. La modélisation systémique

Le modèle d'un système pourrait être défini comme une description, qu'elle soit mentale (*abstraite*) ou figurée (*symbolisée*), une illustration d'un système doit indiquer les éléments constitutifs, son fonctionnement, son but et la prédiction de ses comportements.

Selon Le Moigne, le **modèle** est un instrument de production et d'exposition des connaissances. Il désigne la transcription abstraite d'une réalité concrète, les modèles sont nés des maquettes et schémas, sachant que le **langage graphique** est le langage par excellence de la modélisation systémique. L'étude de S. Bachelard en 1983 mentionne son apparition au XXe siècle, par un article « *Model* » en 1902, publié par *l'Encyclopaedia Britannica*. Sa deuxième apparition est grâce à L. Boltzmann, en publiant un article sur « *catalogue (allemand) de modèles de physique mathématique* ». À savoir que le système a été traité par les encyclopédistes du XVIIIe siècle, en désignant presque ce dont nous parlons aujourd'hui ; le **modèle scientifique** ou **technique** (Le Moigne 1994).

Modéliser : Le verbe exprime l'action de *modélisation* signifiant « **the modeling process** », nom du processus de computations conventionnelles de symboles de tous types (de l'ancestral hiéroglyphe à l'emoji contemporain) par lesquelles les perceptions les plus diverses (physiques, physiologiques, mentales, affectives) peuvent être identifiées et interprétées, computations de symboles générant et régénérant des objets-artéfacts habituellement appelés « *Modèles* » des phénomènes perçus. La langue française facilitant la production de substantifs verbaux, nomme ce processus de conception de modèles : la *modélisation*, mais comme les substantifs verbaux français ne différencient pas explicitement le verbe (l'action de modéliser) et le substantif (le « *résultat de l'action* » : le Modèle), on succombe souvent à la tentation de « *prendre le mot pour la chose* » et le mot « *Modélisation* » pour désigner la chose « *Modèle* ». (Difficulté que la langue anglaise ignore en distinguant « *The Modeling* » et « *The Model* »).

H.A. Simon écrivit, en 1989, dans la presse du MIT : *Foundations of cognitive science*, modéliser est ni plus ni moins logique que raisonner "Modeling is neither more nor less than Reasoning". Il ajouta : la modélisation est le principal outil dont nous disposons pour étudier le comportement des grands systèmes complexes. Ce processus est fondé sur l'expérience et l'observation des comportements des systèmes jugés complexes.

« Modéliser est d'abord un processeur technique qui permet de représenter, dans un but de connaissance et d'action, un objet ou une situation voire un événement réputé complexes. On l'utilise dans tous les domaines scientifiques concernés par la complexité » (Trestini 2016).

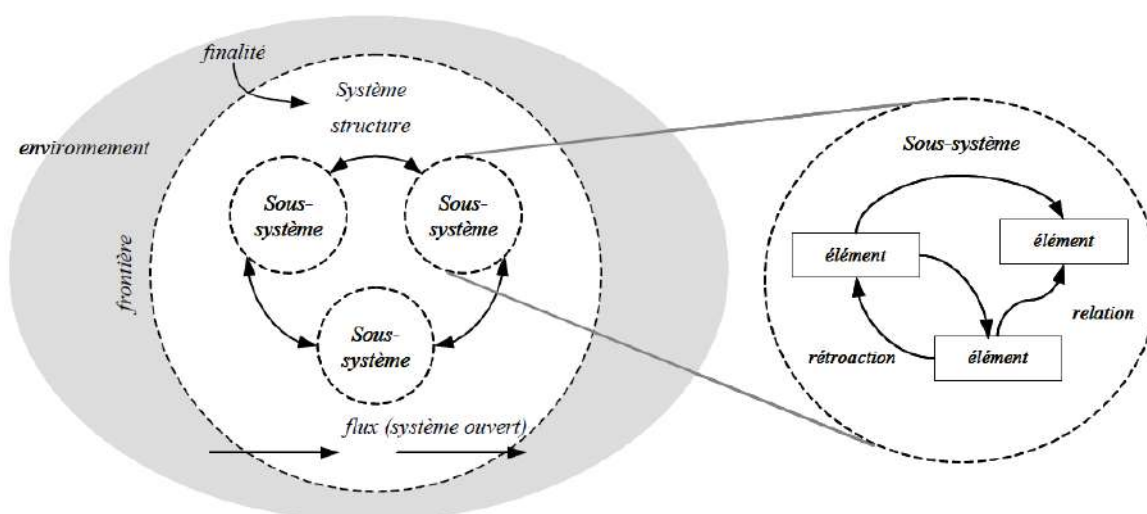
C'est l'outil fondamental de cette approche, mieux formuler, identifier et comprendre un problème complexe, étudier le fonctionnement dynamique d'un système pour le faire évoluer ou encore simuler une stratégie d'action. La modélisation rend donc intelligible une réalité, un phénomène perçu complexe (Le Moigne 1994).

Selon C.Florès (1972, p.33) cité par (Le Moigne 1994b, 85) connaître ne consiste pas en effet à copier le réel, mais à agir sur lui et à le transformer, aux moyens d'action manifestes ou intériorisés... Connaître c'est agir sur l'objet en l'assimilant à un schéma.

La modélisation est une méthodologie, à visée opérationnelle, elle permet d'établir une hypothèse sur le comportement probable d'un système. Elle pourrait être considérée comme une simulation du comportement du système, l'écart entre le processus de modélisation et la simulation pourrait modifier, corriger voire perfectionner le modèle. Il s'avère alors qu'un modèle n'est donc pas vrai ni faux, suivant le caractère de validité d'un modèle n'est pas à sa vérité ou sa fausseté, mais plutôt à sa vertu prédictive, selon le but assigné et l'action projetée (Gérard 2005).

La modélisation définit l'organisation des principaux éléments du système à prendre en compte. Le système est borné par une frontière qui le sépare de son environnement et qui autorise le passage de flux d'entrée et de sortie (énergie, information, matière), si le système est ouvert ou semi-ouvert (Fig.43). Il est doté d'une finalité qui induit un ensemble d'activités et de fonctions. Le système peut être composé de sous-systèmes qui ont leurs propres finalités, structures et fonctions. La structure est constituée par les composantes et les relations entre ces composantes qui sont non seulement linéaires (au sens d'une chaîne de relations sans rétroaction), mais plus généralement circulaires ou rétroactives et multiples.

Figure 43 : Eléments de la modélisation systémique.



Source : Repetti, 2003.

Les deux sections suivantes aborderont la double organisation systémique :

- *Structurelle* : qui consiste à représenter les composantes du système, leurs interrelations, la nature causale de ces interrelations, et les sous-systèmes qui sont de différents niveaux hiérarchiques (agrégation).
- *Dynamique* : qui consiste à étudier le comportement fonctionnel du système à travers ses interrelations.

La modélisation suppose de procéder selon deux étapes (structure/fonctionnement d'un système) comme suit (Gérard 2005) :

Par rapport à la structure d'un système :

- Définir les frontières, le plus clairement possible ;
- Identifier les éléments composants un système (sous-systèmes) et faire apparaître la structure ;
- Révéler les réservoirs qui transitent par le système (les réservoirs sont conventionnellement symbolisés par des rectangles) ;
- Symboliser les réseaux de communication qui permettent la circulation des flux (les réseaux sont conventionnellement symbolisés par des flèches, l'énergie et les matières sont symbolisées par des flèches noires, épaisses, tandis que le flux d'infos est symbolisé par des flèches en pointillé).

Quant au fonctionnement d'un système :

- Identifier les flux qui traversent le système ;
- Révéler les centres de décisions, qui contrôlent les flux (qui peuvent donner lieu à des actions de correction) ;
- Estimer les délais (temps de réponse, les vitesses de circulation des flux dans les canaux) ;
- Schématiser les boucles de rétroaction (réductrice ou amplificatrice) qui déterminent le comportement d'un système (flèche accompagnée d'un « + » ou « - » en fonction de la formulation, négative ou positive).

5.10. Les outils de la logique systémique

La théorie du système se base sur trois éléments qui la mobilisent : la triangulation, le découpage, l'analogie et le langage.

5.10.1. Triangulation systémique

Cet outil accorde une optique quadripartite à la compréhension d'un système, s'intéressant tout d'abord à l'aspect structurel d'un système donné décrivant sa constitution et sa complexité, il s'intéresse également à l'aspect fonctionnel fondé par rapport à une finalité souhaitée. Et enfin, il met en relief l'aspect génétique d'un système qui est lui-même doté, à priori, d'une mémoire et un caractère métamorphose (évolutif), capable de s'auto-organiser.

5.10.2. Le découpage systémique

Un système est composé de plusieurs processeurs, chaque processeur pourrait être composé de plusieurs sous-systèmes (modules), à chacun une finalité, une fonction, une frontière et un comportement. Dans cette logique, le découpage sert à isoler les processeurs (ensemble de modules) qui fonctionnent en synergie, mais il y a un certain nombre de critères pour ce faire :

- La fonction (la finalité) par rapport au processeur ;
- La genèse (l'histoire), il va falloir voir si les modules partagent le même aspect historique ;
- La hiérarchie (niveau d'organisation), est-il lié avec le mécanisme du processeur ;
- La structure, sachant que plusieurs modèles possèdent un caractère répétitif et se trouvent à plusieurs niveaux d'organisation (géométrie fractale, hologramme), leur analyse se focalisera alors sur une seule forme de cet hologramme (par le biais de l'effet de loupe).

5.10.3. L'analogie

L'un des outils les plus extravagants de la modélisation systémique est l'analogie. Notons qu'il existe quatre modèles pour en faire. (i) *la métaphore* consiste à établir une correspondance en fonction de l'aspect extérieur des organismes, (ii) *l'homomorphisme*, il s'agit d'établir une correspondance par quelques traits du système étudié (iii) *l'isomorphisme*, il s'agit d'établir une seule correspondance (y compris tous les traits de l'objet étudié, rien ne devrait être oublié et (iv) *le modèle*, s'agissant de l'élaboration d'un cadre théorique qui pourrait être schématisé. Un modèle pourrait être constitué à partir d'une métaphore.

5.10.4. Le langage graphique

S'agissant d'un véritable langage, à côté des langues écrites et parlées, ou encore le langage mathématique formel, ces langages ont fait recours au langage graphique par des schémas et idéogrammes ainsi que par la géométrie et la théorie des graphes, nous citons quatre avantages du langage graphique :

- Il permet une appréhension globale et rapide du système représenté ;

- Il contient une forte densité d'informations dans un espace limité (économie de moyens) ;
- Il est monosémique et semi-formelle (*faible variabilité d'interprétation*) ;
- Il possède une bonne capacité heuristique (notamment dans un travail de groupe).

5.11. L'approche systémique dans l'école urbanistique et architecturale

Les architectes et les urbanistes contemporains mobilisent souvent, dans leurs discours et leurs pratiques, des problématiques environnementales liées au développement durable et à l'innovation. Ces problématiques sont souvent exposées via une approche holistique dont la finalité est de prodiguer un modèle ou un système innovant pour pallier aux problèmes rencontrés.

5.12. La ville comme un organisme vivant complexe et compliqué

Aujourd'hui, la ville n'est plus observée comme un simple support physique soutenant une structure sociale, au-delà de cette vision myope. La ville, c'est un territoire social, on y travaille, on y loge, on y cherche les moyens de s'épanouir, de se protéger et de se rencontrer et se connecter. La ville, c'est un ensemble de modes de vie en effervescence permanente (Maugard and Cuisinier 2010:35). Dès lors, elle est considérée comme un organisme vivant doté d'une forme, d'une typologie et d'une morphologie structurelle et fonctionnelle. Elle intègre idem une nouvelle dimension : une physiologie organisationnelle qui relève l'urbain au rang des entités dotées d'un métabolisme, donnant un système ouvert qui est en constante interaction avec son environnement qui lui fournit des ressources dont il dépend, et reçoit les déchets (Berezowska-Azzag 2013).

Sachant que le terme écosystème est une contraction du terme anglais *ecological system*, formulé en 1935 par A.G Tauslay, dans la discipline de la biologie, l'écosystème traduit un système formé par un ensemble d'espèces associées, interdépendantes dans un milieu caractérisé par un ensemble de facteurs physiques, chimiques et biologiques permettant le développement de **la vie**.

Un écosystème est défini comme étant un milieu dont l'ensemble des composantes biotiques (plantes, animaux et micro-organismes) et abiotiques (environnement physique, eau, sol, relief, température) sont en constante interaction afin de former une unité fonctionnelle (Sarukhan et al. 2005).

La ville écosystème se compose de deux composantes majeures, un système artificiel (anthropo-social) et un système naturel (environnemental). Toutefois, le système environnemental n'est plus considéré comme un réservoir des ressources, et par sa dimension ; de recyclage au service du système anthropo-social, mais il devient plutôt un

partenaire fondamental d'échange dans un *système complexe*, où le moindre fléchissement d'équilibre peut mener l'ensemble à la catastrophe (Berezowska-Azzag 2008b).

L'écosystème⁴⁶ urbain est le terme le plus utilisé pour désigner l'application de l'approche systémique sur son organisation, sa structure, sa philosophie et son fonctionnement dans son *holisme* (Newman and Kenworthy 1999a). Nous arriverons à une finalité de la ville qui serait : « *la ville est un moyen de réaliser la finalité des sociétés humaines, qui est de vivre et de maintenir leurs structures* » (Burgie-Diop, 1997, 28).

La ville écosystème, suivant la définition du concept du *système* avancé par (De Rosnay 2014), est définie comme étant *un ensemble d'éléments connectés pour accomplir une fonction unique qu'aucun des éléments ne peut accomplir seul*. Dès lors, il n'y a aucun doute que la ville est bien un système (Terrin 2014:94). Selon l'écologiste Sylvestre Voisin, cette définition met en lumière que le territoire en question est composé de plusieurs variables et éléments qui sont en constante interconnexion, s'influencent mutuellement et évoluent avec le temps d'une manière cyclique. Cependant, les villes ne sont pas à l'instar des autres écosystèmes que nous connaissons, mais encore un peu plus *complexes*, elles sont considérées souvent comme étant des *éco-complexes* ou des *systèmes hyper complexes* abritant plusieurs écosystèmes. L'homme, quant à lui, développe son propre système artificiel, généralement le système humain est peu complexe, voire même de simple structure, comme déjà mentionné par (Fischer-Kowalski and Weisz 1999), l'homme est générateur de perturbations. Ces deux systèmes cohabitent ou luttent entre eux pour survivre. À savoir que concevoir un tel équilibre est évidemment ardu dans le contexte existant.

Admettant que la ville soit organisée comme un système, il est possible, dès lors, d'envisager son fonctionnement et son comportement comme celui d'un organisme vivant doté d'une morphologie (fonctionnelle, formelle), d'une physiologie (métabolisme) et une forme d'intelligence reflétant la capacité de gouvernance et l'efficacité de portage politique de son développement (Berezowska-Azzag 2013). Dès lors, la ville se développe et s'accroît aux moyens de métabolisme donnant un caractère vivant à cette entité ou à ce corps, c'est pour cela qu'elle est envisagée comme un système écologique complexe et compliqué à la fois (De Rosnay 2014; Newman and Kenworthy 1999b).

Il est clair que l'activité humaine est génératrice d'effets pervers sur les écosystèmes. Les principales pressions causées par le système socio-économique sur le système biologique sont classées en cinq catégories :

- Destruction de l'habitat ;
- Introduction des espèces exotique et envahissantes ;

⁴⁶ L'écosystème en question est défini comme étant un complexe dynamique formé de communautés de plantes, d'animaux et de micro-organisme et de leur environnement non vivant qui, par leur interaction, forme une entité fonctionnelle (stratégie de la conservation, 2003).

- Surexploitation des ressources ;
- Changement climatique ;
- Pollution.

En revanche, l'approche écosystémique des villes, comme d'autres approches d'ailleurs, est largement controversée. Probablement la définition la plus controversée de la ville éco-système est celle avancée par Da Cunha, qui avança que « *La ville est avant tout un écosystème en constant déséquilibre, car son mécanisme de fonctionnement est imparfait et ses cycles internes (énergie, mais également déchets de toute nature) ne sont pas bouclés comme dans un écosystème. En ce sens, la ville n'est pas un système vraiment durable...les villes peuvent être considérées comme des écosystèmes, mais écosystèmes peu autonomes, à métabolisme imparfait et fortement entropique* » (Comité 21 2012).

5.12.1. Physiologie urbaine

Le métabolisme en médecine et en biologie reflète l'ensemble de transformations moléculaires et des transferts d'énergie qui se déroulent de manière ininterrompue dans la cellule ou l'organisme vivant. S'agissant d'un processus ordonné, qui fait intervenir des processus de dégradation (catabolisme⁴⁷) et de synthèse organique (anabolisme⁴⁸). Cet ensemble de réactions chimiques permettent aux organismes vivants (i) de se maintenir en vie, (ii) de se reproduire, (iii) de se développer et (iv) de répondre aux stimuli de l'environnement. Ces réactions sont régies par les lois de la thermodynamique et s'organisent en voie métabolique visant à convertir un composé chimique en un autre par le biais de plusieurs cycles successifs. Certaines réactions déterminantes sont accélérées ou ralenties en aboutissant de l'autorégulation du système, par la voie d'ouverture ou de fermeture de différentes voies métaboliques selon les circonstances.

En urbanisme, le métabolisme urbain signifie, selon Sabin Berles, ingénieur-urbaniste, *l'ensemble des processus par lesquels les villes se mobilisent, consomment et transforment ces ressources naturelles* (Barles 2007).

Dès lors, le métabolisme offre une vision globale des différents types d'interaction qu'un édifice ou un territoire urbain entretient avec son environnement. Les villes sont dépendantes de nombreux systèmes qu'elles exploitent avec plus ou moins de sobriété : matériaux, alimentation, énergie, eau, monnaie, etc., elles y puisent les ressources dont elles ont besoin et y rejettent leurs déchets (Berezowska-Azzag 2013; Terrin 2014).

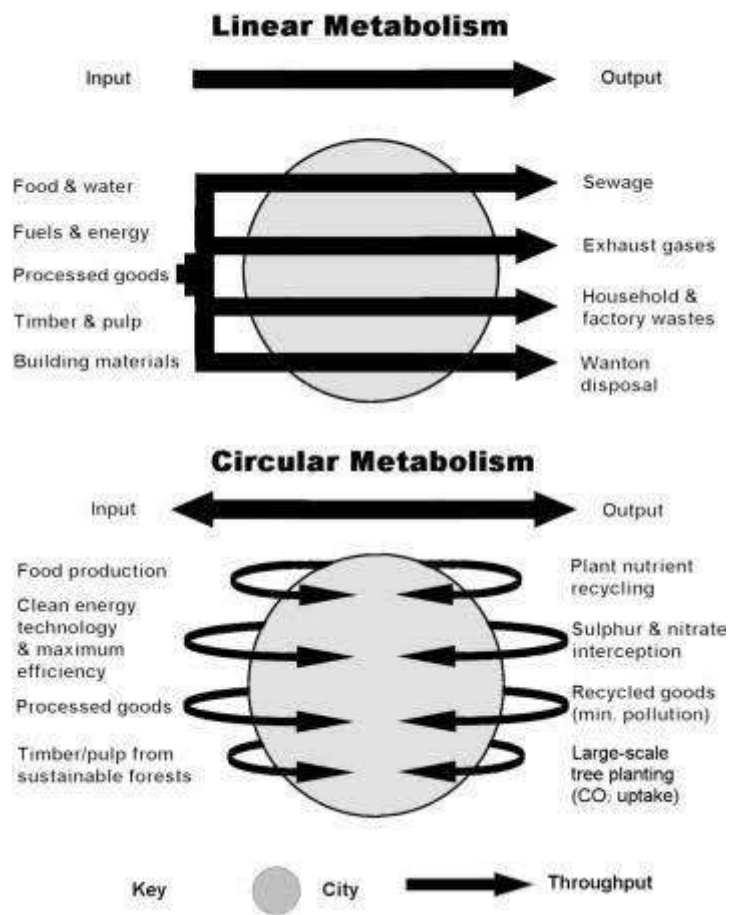
⁴⁷ Ensemble des réactions de dégradations moléculaires de l'organisme considéré.

⁴⁸ Ensemble de réactions chimiques des organismes vivants permettant la synthèse des métabolites essentiels à partir des éléments de base fournis par l'alimentation, et aboutissant à la construction ou au renouvellement des tissus.

« Pour atteindre la durabilité de l'écosystème urbain, il est important que le débit de ses flux respecte certaines limites au-delà desquelles les stocks ne peuvent plus se régénérer, occasionnant des dégradations irréversibles de l'environnement naturel. Dans la conception de la ville, il faut ainsi viser à atteindre un équilibre du métabolisme, un niveau stationnaire, par un équilibre dynamique entre les flux de ressources exploitées de l'hinterland et la quantité de déchets et pollution que celui-ci peut dégrader naturellement, sans avoir à d'autre territoire pour bénéficier de plus de ressources ou se débarrasser de plus de déchets, afin de ne pas transférer à d'autre écosystème. L'équilibre stationnaire étant un objectif primordial dans cette approche ; il est impératif de ne pas dépasser les limites admises des usages » (Azzag, 2004).

Le métabolisme urbain, dans la figure ci-dessous, traduit l'aptitude du système socio-anthropique à consommer les matières premières, l'énergie et l'information en les transformant vers des déchets de toutes natures (liquides, gazeux et solides) dans l'environnement (Fig.44).

Figure 44 : Métabolisme urbain linéaire et circulaire.



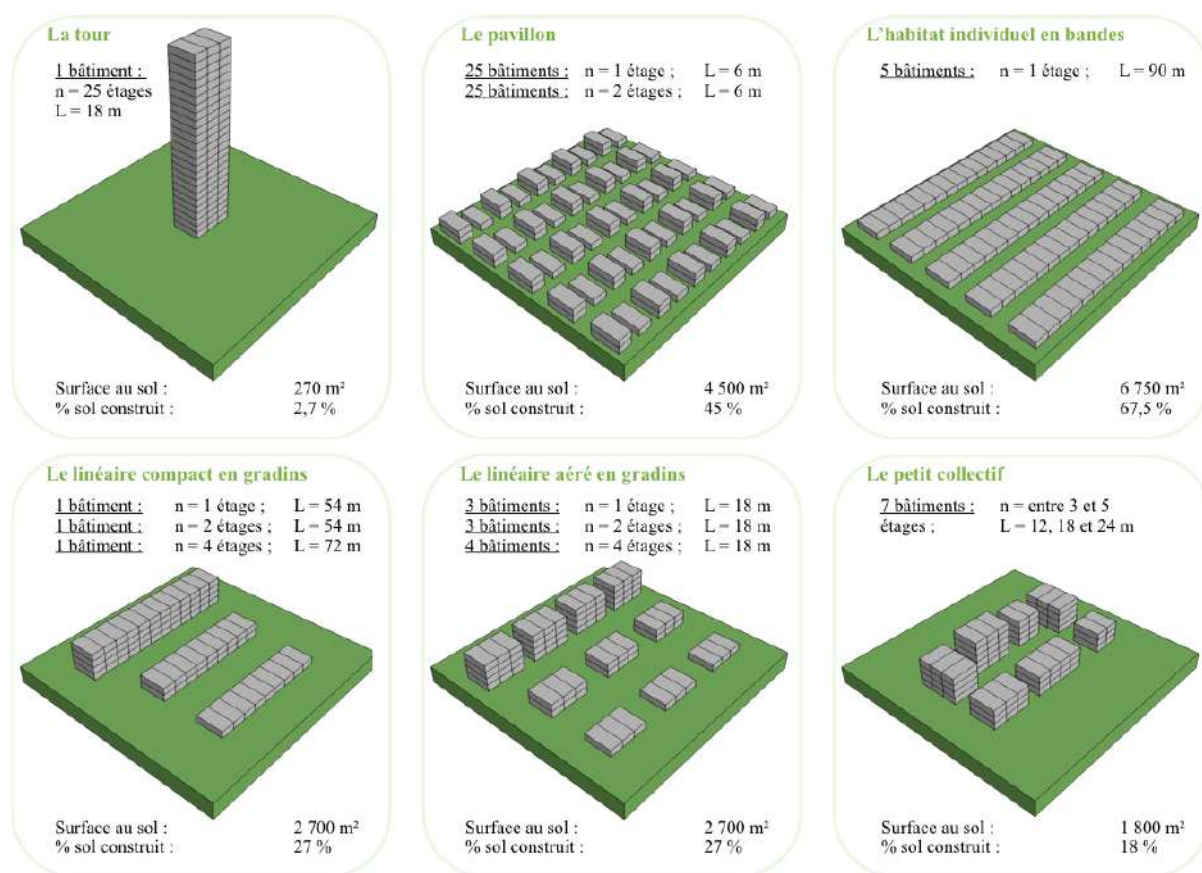
Source : Wolman, 1962.

5.12.2. Morphologie urbaine

La ville est une structure spatiale formée par l'adjonction des formes urbaines variées, reflétant une composition si différente d'une ville à une autre, et traduit le mode de vie de chaque société à travers les époques. L'une des manières pour qualifier les formes urbaines est l'étude des COS et CES (Fig.45), le COS, quant à lui, se calcule via la densité de construction sur une parcelle. Cependant, il faut distinguer entre la densité perçue et la densité réelle.

La morphologie urbaine vise à mettre en relief les formes urbaines en étudiant les tissus urbains au-delà de la simple analyse architecturale des bâtiments, mais plutôt se focaliser sur les caractéristiques de la ville y compris voirie, le système parcellaire, les modes de découpages des sols, les densités et l'usage et les phénomènes sous-jacents : la topographie, l'histoire, la culture, l'économie, les règles d'urbanisme, le mode d'approvisionnement en énergie et la technologie disponible, en se basant sur une imbrication d'échelle comme par l'unité urbaine jusqu'à l'agglomération.

Figure 45 : Les différentes formes urbaines.



Source : Arnates et al. 2016.

5.12.3. Intelligence urbaine

Étant donné que la ville, désormais, est considérée comme un *écosystème urbain*, elle est aussi considérée comme un *corps urbain*, un organisme vivant doté d'une intelligence. Elle dépasse l'idée myope d'antan qui consiste à la considérer comme un support physique de l'activité humaine. Aujourd'hui, elle se dématérialise, devient multidimensionnelle et pluridisciplinaire, elle développe une sorte d'intelligence territoriale, économique et patrimoniale. Les activités dans la ville doivent être coordonnées par un mécanisme de régulation et un système de gestion qui relèvent de l'intelligence urbaine (Berezowska-Azzag 2005:57). Car seule l'intelligence permet de mieux réagir face aux enjeux du moment, selon Berezowska-Azzag, parce qu'elle est capable de se munir des outils nécessaires et de découpler ses capacités de résilience (Berezowska-Azzag 2013).

5.13. Le modèle urbain issu de l'imbrication de l'approche systémique à l'urbanisme

Depuis l'apparition de l'architecture et l'urbanisme durant les différentes époques en accompagnant le développement de l'Homme vers l'Homo Sapiens d'aujourd'hui, plusieurs modèles urbains ont été théorisés, expérimentés et incarnés pour répondre à des impératives

contextualisées jugées souvent contraignantes, à savoir la majorité de ces modèles ont servi de ligne conductrice pour les pratiques de l'urbanisme, certains de ces modèles sont restés figer au fil du temps, certains d'entre eux ont expérimenté une métamorphose plus ou moins profonde au cours de leurs circulations et leur adoption, pour se donner un caractère aussi souple et flexible, afin d'être en diapason avec les mutations socio-économiques qui affectent les villes et, par voie de conséquence, le modèle urbain. Cette vogue évoque notamment l'évolution de l'urbanisation et de l'urbanisme.

La pratique des modèles urbains a pour but de révolutionner la politique urbaine des villes ; en effet, l'idée des modèles urbains traitant les modes d'occupation des sols et le transport remonte aux années 1950. Ces modèles sont corrélés à un paradigme de développement urbain rationnel, il est considéré comme un mécanisme d'un développement urbain pour contrôler les villes dans le futur.

Dans ce contexte, il est important de souligner que les modèles ne peuvent pas être décontextualisés, ou autrement dit, contextualiser un modèle produit dans une ville et l'adapter à une autre ville avec un grand écart entre les deux communautés, parlant notamment de culture et modes de vie. C'est ce que Lee souligna en 1973 dans son ouvrage « *Requiem for Large-Scale Models* » (Lee Jr 1973) en attestant que le fait de contextualiser un modèle d'une société vers une autre représenterait, à fortiori, un échec et ne va plus répondre aux nouveaux développements, « *Symbolized the last offensive of the technocratic, hyper comprehensive mode of planning* » ajouta-t-il (Wegener 1994).

5.14. Types de modèles urbains

Il existe au moins deux catégories de modèles urbains, le premier pourrait renvoyer à des descriptions théoriques (d'ordre quantitatif) qui pourraient expliquer et éclaircir la morphologie ou bien le fonctionnement des villes, l'autre modèle quant à lui, il renvoie aux représentations des traits essentiels d'une ville idéale à réaliser (Wusten 2016).

5.14.1. Le modèle urbain : Une théorie quantitative pour expliquer le fonctionnement des villes

Probablement, l'exemple le plus illustratif est celui proposé par Micheal Wagner en 1994 dans son article intitulé *Operational urban models : State of art* dans lequel l'auteur proposa un modèle interactif est par nature un modèle constitué de huit sous-modèles urbains : (i) réseaux, (ii) le mode d'occupation des sols (iii) les lieux d'emploi (iv) les lieux de résidences, (vi) l'emploi (vii) la population (iix) le transport des marchandises et (ix) le déplacement des personnes. S'agissant d'un modèle interactif auquel nous devons au moins prendre en considération deux de ces sous-processeurs, l'auteur ajouta un autre niveau englobant l'ensemble des processeurs qu'est l'environnement urbain (Wegener 1994).

Ces sous-modules peuvent se donner selon leur temporalité, c'est-à-dire la vitesse avec laquelle ils se transforment. Wagner désigna quatre temporalités :

- *Temporalité de long terme* : englobant les réseaux et les modes d'occupation des sols. En effet, les réseaux urbains tels que le transport, les réseaux de communication, les réseaux sanitaires sont les éléments les plus performants de la structure physique d'une ville ;
- *Temporalité de moyen terme* : englobant l'emploi et la population, à savoir que les firmes se créent, s'étendent ou se relocalisent en fonction des modifications des marchés et des technologies, cela crée de nouveaux emplois ou crée des chômeurs et donc affecte l'emploi. De même, les ménages se forment, croissent et déclinent suivent le cycle de vie des objets, les ménages ajustent leur consommation de logement et la localisation de leur logement en fonction de leurs besoins, cela détermine la distribution de la population ;
- *Temporalité de court terme* : englobant transport de marchandises et de voyageurs, la localisation des activités dans l'espace entraîne une demande d'interaction spatiale qui se matérialise par le transport de marchandises et les déplacements de personnes. Ces interactions sont les phénomènes les plus volatiles du développement urbain spatial.

5.14.2. Le modèle urbain : Une vision idéaliste des villes

La diffusion de ce type de modèle est due à la géographie quantitative des années 1960. Ce courant consista alors à adopter des biens tangibles récemment inventés. Néanmoins, il ne s'agit pas seulement de biens tangibles et uniques, il se pourrait qu'il s'agisse d'une série d'éléments liés pouvant être des biens matériels aussi bien institutionnels, pratiques et prescriptions (Wusten 2016).

Le *modèle urbain* en question pourrait représenter l'objet d'une réussite (succès) ou un échec, cet état est conditionné par un dialogue régulier entre les villes et les institutions en charge de la pratique politique.

Au cours du XXe siècle, plusieurs modèles urbains ont été proposés pour une finalité de rendre les villes plus attrayantes. Par exemple, le point culminant de l'urbanisme moderniste était chapeauté par le modèle urbain de Le Corbusier et du CIAM qui tenta de modéliser un modèle d'une ville aussi futuriste que progressiste et si différente aux axiomes des culturalistes.

Quoi qu'il en soit, les modèles urbains mis en œuvre dans les villes autour du monde suggèrent, selon Wusten, des approches assez concrètes et servent comme fils conducteurs aux pratiques urbaines. Ces modèles urbains souvent deviennent des *slogans mobilisateurs*

souvent hégémoniques, parfois même de l'ordre de la proclamation polémique dans des luttes verbales, qui se trouvent au cœur de la pratique politique urbaine (Wusten 2016).

5.14.3. Quelques modèles urbains

Au cours de la première partie du XXe siècle, fut majoritairement dominé, au départ, par le modèle du CIAM⁴⁹ qui est considéré comme le vecteur d'une pensée progressiste dont l'objectif était de prodiguer un aménagement physique optimal pour les différents domaines d'activités : (i) habiter, (ii) travailler, (iii) circuler et (iv) se récréer. Cette logique a été par la suite renforcée par la Charte d'Athènes (Ville fonctionnelle) qui insista sur l'aménagement des quatre domaines d'activité ayant comme objectif d'adapter la ville aux exigences de la modernité au cours de la première décennie du XXe siècle. Parmi les villes réalisées dans cette logique, nous trouvons : les deux villes nouvelles dans des colonies (Vietnam et Indonésie), trois villes aux États-Unis, et probablement, les pays les mieux représentés sur cette liste sont en Italie (cinq plans dont une d'une ville nouvelle qui fut inaugurée par Mussolini) et en Allemagne (quatre plans dont celui de Dessau, résidence du Bauhaus après son départ de Weimar, fermée en 1932 à la demande des nazis). Dans les années 1960, Le Corbusier rédigeait la version finale pour le développement d'Alger, un peu plus tard, en 1932, il réalisa le plan d'extension générale d'Amsterdam qui avait été préparé méticuleusement (achevé par un architecte du CIAM). En effet, le modèle de la ville fonctionnelle fut le modèle urbain dominant pendant la période de reconstruction massive en Europe de l'Est et en Europe de l'Ouest. L'exemple le plus emblématique est celui d'Amsterdam, après la réalisation de son plan en 1934, la phase suivante prévoyait une grande restructuration de la ville existante selon les idées du CIAM, or cette restructuration suscita de vives résistances et controverses vers la fin des années 1960, et fut finalement abandonnée. Dès lors, de nouveaux modèles urbains eurent émergé.

Par la suite, après le courant progressiste du CIAM, nous assistons à la restructuration de la ville par le biais de la politique, dans cette période, nous avons expérimenté la vie urbaine comme étant une scène politique, dont l'approche resta assez technocratique. Ce régime se caractérise par la responsabilité de l'architecte et de l'urbaniste. Les plans des villes sont devenus des œuvres de leurs propres imaginations, les pouvoirs des gouvernements servis comme un assistant en vue de régler le *zoning* du modèle progressiste moderne. Cette période reflète un modèle post-corbuséen selon des modalités différentes qui ont conduit à trois versions de modèles. En l'occurrence, la ville est désormais considérée comme une entité, de nature politique, parfois même, elle devient un *acteur politique*, cette idéologie reflète trois versions de l'approche politique dans les modèles urbains qui renvoient à (i) l'application de

⁴⁹ S'est tenu en 1928-1959, le quatrième était en 1933, soldé par la Charte d'Athènes.

la *Nouvelle Gestion Publique*⁵⁰ ou *New Public Management* (ii) l'application du principe de la *bonne gouvernance*⁵¹ entre les parties prenantes et (iii) l'incorporation de tous les habitants d'une *ville inclusive*⁵².

Après, nous avons assisté à une série de modèles urbains axés sur des changements dans la structure des économies développées (restructuration de l'économie), qui ont touché notamment à l'un des piliers de la ville fonctionnelle ; *le travail* dans lequel une économie industrielle a été remplacée par une économie de service qui se manifeste via des processus de production globalisée, et les entreprises sont devenues des multinationales. Le modèle urbain reste dominé par des centres logistiques, concentration des sièges principaux de firmes multinationales et des centres de recherche. En effet, pour mener une bonne politique urbaine, une alliance entre gouvernements urbains, les centres de recherches (universités) et le secteur privé a été proposée, généralement connue sous le nom de la *triple hélice* (Etzkowitz 2014).

Par la suite, nous assistons à l'ère de l'aménagement de l'environnement physique, qui se caractérise par une série de modèles urbains divers. L'environnement, suivant cette logique, inclut le fondement essentiel physique de la vie urbaine (l'atmosphère, le sol, la nature, les constructions et les infrastructures). *La ville durable* représente l'exemple par excellence introduite lors de la conférence de Rio de Janeiro organisée par l'ONU en 1992, introduisant des *Agenda 21* locaux pour pallier à des problèmes locaux ayant un effet à l'échelle mondiale, en s'appuyant sur le 3^e (économie, environnement et équité), appuyés plus tard par la charte d'Alberge⁵³ en 1944 en mettant en relief l'axe écologique. Les idéologies avancées par la *ville durable* permettaient à certaines villes telles que Vancouver de mener des efforts pour réduire les émissions locales de dioxyde de carbone depuis 1990, et en diapason d'un *Greenest City Action Plan* depuis 2009. Y a aussi d'autres villes qui doivent partager presque le même modèle, qui sont *la ville touristique* et *la ville spectacle*, ou encore *l'urbanisme sécuritaire* associé à l'acronyme CPTED particulièrement engagé dans le domaine résidentiel, ce modèle est né dans les contextes urbains où la criminalité est contrôlée par des interventions dans l'aménagement de la ville, nous y trouvons notamment l'ouvrage de Clarence Ray Jeffery « *Crime Prevention Through Environmental Design* » (Jeffery 1977).

⁵⁰ Elle désigne la capacité des dirigeants urbains à traduire les préférences de la population urbaine en produits appréciés. Cette pensée avait démarré en Angleterre et puis appliquée dans le monde selon des versions différentes commençant par l'OCDE puis au-delà.

⁵¹ Cette nouvelle vogue a été introduite au début des années 1990 par des organisations internationales (telles que l'ONU, la Banque mondiale, le FMI), par la suite, le terme s'identifie à la sélection des décideurs, la capacité de prendre des décisions régulatrices. Elle prend par la suite la forme d'un réseau d'acteurs autonomes et interdépendants.

⁵² Une forme de la pratique de la vie urbaine qui consiste à inclure la totalité de la population urbaine, cette vogue a été exaltée dans le monde dû à des expériences menées dans les villes brésiliennes après l'introduction de la nouvelle constitution en 1988. L'exemple le plus frappant est celui du budget participatif à Porto Alegre, aujourd'hui réutilisé en Tunisie.

⁵³ Cette charte est considérée comme antinomique à la charte d'Athènes.

Comme une réponse au modèle précédent, considérant la ville comme un environnement physique construit, le modèle qui vient juste après considère la ville plutôt comme un organisme social, ce modèle invite à améliorer la vie urbaine par une mobilisation de l'imagination, une meilleure coopération et l'incorporation des objets dans les efforts humains, grâce à la connectivité rendue possible par internet. La technologie apporte sa touche sur ce modèle urbain visant notamment à élargir le potentiel créatif tant au niveau individuel que collectif, ce modèle est souvent connu sous le nom de *modèle de la ville intelligente*⁵⁴.

5.15. Composantes et propriétés des services écosystémiques

Figure 46 : Les biens et les services écologiques.



Source : Fond mondial pour la nature, 2019.

Les villes écosystèmes sont composées de plusieurs biens et services écologiques (Fig.46 et Fig.47) qui se regroupent dans quatre catégories :

- *Les services de régulation*

⁵⁴ L'origine de la ville intelligente se situe dans les études et projets pilotes proposés par William Mitchell et des étudiants du département de l'*Urban Planning* du MIT autour de 2004 (Wusten 2016).

Sont des processus naturels permettant de contrôler les paramètres environnementaux afin de prévenir, entre autres, les désastres naturels, les changements climatiques et la prolifération de maladies afin de contribuer au bien-être des populations humaines (Millennium Ecosystem Assessment 2005). Ces services incluent le contrôle de la qualité de l'air, la séquestration du carbone, la prévention de l'érosion, la fertilisation des sols, la purification de l'eau, la pollinisation, le contrôle des espèces envahissantes.

- *Les services d'approvisionnement*

S'agissant des produits que les populations humaines peuvent obtenir directement des écosystèmes. Ces biens sont tout ce que les hommes peuvent utiliser pour se nourrir ou pour s'abriter, se divertir, ou répondre à leur besoin en matière d'énergie ou de santé, il s'agit, par exemple, de la nourriture de l'eau, des ressources naturelles et des plantes utilisées à des fins médicinales (Sarukhan et al. 2005). Ces types de services résultent de l'existence des services de support et de régulation.

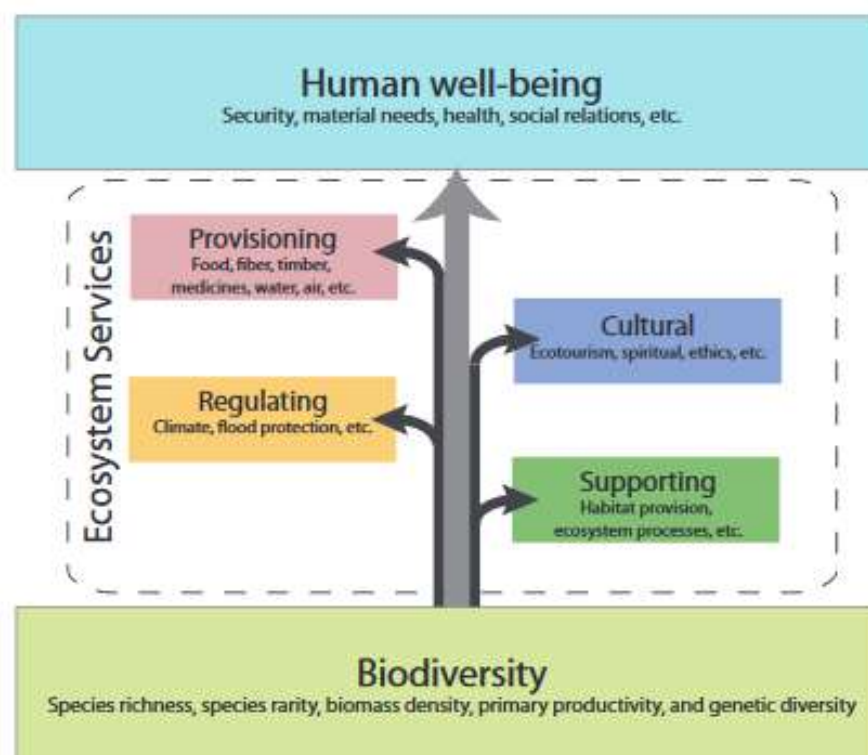
- *Les services de soutien/support*

Les services de support représentent le fondement des processus des écosystèmes qui permettent le maintien des biens et services écologiques des autres catégories, leur impact sur le bien-être des populations humaines sont directes et indirectes et se produisent à long terme. Cette catégorie de services regroupe, entre autres, les processus liés à la formation des sols, au cycle des nutriments, à la photosynthèse et au cycle de l'eau.

- *Les services culturels*

Sont des services immatériels que les populations humaines tirent des écosystèmes. Ces services contribuent à l'épanouissement spirituel, à la diversité culturelle, au divertissement, au développement cognitif, à la réflexion ainsi qu'à la valeur esthétique des lieux.

Figure 47 : Services écosystémiques.



Source :Atlas de l'empreinte écologique, 2010.

5.16. La ville est-elle vraiment un organisme vivant ?

Malgré l'existence de plusieurs théories très élaborées sur la compréhension et la représentation de la ville comme étant un organisme vivant autonome en termes de morphologie et morphogenèse, qui renvoient à la biologie et l'embryologie, l'analogie n'est que formelle. Selon Wilfgan Wildgen, la morphologie biologique et la morphogenèse des sociétés humaines dans l'espace se partagent un nombre de principes dynamiques formels apparaissant surtout dans le contexte de l'optimisation et d'équilibre. D'autres chercheurs visent à corriger cette vision de la ville organique, y compris Henri Laborit, médecin-philosophe, qui disait que « *la ville est assimilable à un moyen pour un groupe humain, de maintenir son organisation, sa structure complexe, dans un environnement dont les paramètres évoluent constamment* ». Les relations entretenues entre la ville et le groupe humain sont alors réciproques, la ville maintient le groupe social, tandis que le groupe humain la construit, l'habite et l'entretien. Henri Laborit ajoute que cette philosophie de la ville écosystème s'agissant d'une simplification stérile, car la ville n'est pas un organisme mais, au contraire, elle représente les moyens empruntés par un organisme social pour contrôler et maintenir sa structure.

Conclusion

Il est clair que les problèmes environnementaux d'aujourd'hui sont extrêmes, non seulement par leurs fréquences, leurs intensités et leurs magnitudes mais aussi par leurs complexités. Ceci-dit, en vue de comprendre ces problèmes contemporains, il est essentiel d'appliquer une approche holistique apte à décrypter l'aspect complexe et compliqué de ces phénomènes. L'approche systémique se présente comme étant une approche « *bouche-trou* » visant à accompagner –suivant un processus diachronique/synchronique- la réflexion sur une partie d'un problème, d'une manière contextualisée, ou encore l'intégralité des liens (de dépendances/influences) avec d'autres problèmes.

Toutefois, le but de la modélisation n'est pas de reproduire la réalité, mais d'en arriver à un modèle simplifié et utile concernant les problématiques traitées pour laquelle elle est empruntée. Étant donné que les écosystèmes ont une capacité de résilience leur permettant d'accumuler un certain niveau de perturbation avant d'échouer. Toutefois, lorsque le niveau de perturbation est trop important, la structure de l'écosystème sera modifiée, c'est cette pression qui cause la perte des biens et services écologiques, parlons alors de la perte de la résilience du système per se.

Dans ce travail de recherche, l'approche systémique est approchée comme étant un outil permettant de disséquer le fonctionnement/comportement des villes, et permettant de mieux représenter le processus et les processeurs participant à l'achèvement d'une fonction précise. Dès lors, l'approche systémique pourrait être, éventuellement, empruntée pour dérouter le modèle urbain d'Alger en se basant sur la logique de la capacité de charge carbone.

Chapitre VI : Modélisation de l'outil de monitoring~controlling du modèle urbain Algérois vers la soutenabilité environnementale et la résilience climatique

" Vous ne pouvez pas gérer ce que vous ne pouvez pas mesurer",

" Si vous ne pouvez pas le mesurer, vous ne pouvez pas l'améliorer"

Peter Drucker, 2010.

Introduction

L'évaluation de *la capacité de charge carbone (C³)* d'Alger présentée dans cette thèse a permis d'évaluer les besoins en puits de carbone du métabolisme socio-économique d'Alger. Nous avons constaté qu'Alger, l'une des villes de la rive sud méditerranéenne, connaît des problèmes de durabilité environnementale parce que les émissions de carbone anthropiques territoriales dépassent le seuil d'assimilation de l'environnement. Notre recherche est basée sur la comparaison de deux indicateurs i) *puits de carbone* considérant l'ensemble du cycle biogéochimique du carbone, et ii) *émissions de carbone* considérant les émissions territoriales émises dans les limites administratives d'Alger (évaluation des Scopes 1 et 2). Le phénomène du réchauffement climatique dissipe son aspect négatif, il offre l'opportunité de remodeler et de redessiner les villes du monde et de mettre en œuvre des actions efficaces en faveur de la durabilité globale.

Néanmoins, comme les émissions de carbone et la croissance démographique sont une préoccupation fondamentale pour les scientifiques et les décideurs politiques, la C³ souligne la nécessité urgente de soumettre des mesures de contrôle de la surpopulation et la surconsommation d'énergie, en particulier dans les pays en développement – accompagné par d'autres facteurs critiques tels que la nourriture et l'eau - où la croissance démographique est trop rapide pour que l'environnement puisse absorber les déchets du métabolisme urbain et fournir des ressources nécessaires pour la survie des populations urbaines. De même, le C³ pourrait constituer un outil de *smart urban growth management* pour i) maintenir et restaurer les actifs écologiques des villes, ii) renforcer les fonctions des écosystèmes, iii) réduire les émissions de carbone, ceci est un processus clé pour aider à guider les villes en développement vers une transition écologique et mieux préparer les actions locales aux problèmes climatiques. Sachant que l'objectif de *la capacité de charge carbone (C³)* ne vise ni à freiner la croissance démographique ni à la réduire, mais plutôt à introduire une nouvelle voie tangible pour réduire les émissions urbaines de carbone en mettant l'accent sur le développement durable urbain et la gestion forestière durable.

6.1. L'action climatique dans le contexte algérien : Bilan et perspectives

6.1.1. De nouvelles institutions et bilan

Depuis l'émergence de la crise climatique, dans les années 90, l'Algérie a ratifié la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements climatiques en 1993, suivie par le Protocole de Kyoto en 2004, la Convention des Nations sur la Diversité Biologique en 1995, ainsi que la Convention des Nations Unies sur la Lutte contre la Désertification dans les pays les plus touchés par la sécheresse et la désertification en 1996.

Comme réaction à ces engagements, de nombreuses initiatives ont vu le jour à la suite de la mise en œuvre de la CCNUCC, plus particulièrement en matière d'adaptation et d'atténuation. Parmi ces engagements, le pays développa un Plan National Climat (PNC) qui s'inscrit dans l'idéologie promue lors de la conférence de Rio+20 afin de condenser les efforts à l'échelle mondiale pour lutter contre les changements climatiques et booster les engagements de développement durable aux contextes locaux. Cette réflexion se focalise à rendre l'économie nationale une économie à bas carbone, et d'introduire la société algérienne aux problèmes de soutenabilité qui se manifestent via plusieurs échelles.

Le Plan National Climat (PNC) s'organise autour de sept objectifs :

1. Généraliser des connaissances en matière de climat dans tous les secteurs ;
2. Suivre l'impact de l'économie nationale sur l'environnement et vice-versa ;
3. Tétaniser la capacité et le portage opérationnels du cadre politique en matière d'occupations récentes relatives au climat ;
4. Tracer les lignes directrices d'une stratégie nationale en vue de lutter contre les changements climatiques ;
5. Proposer des mesures adaptatrices en vue d'augmenter la résilience des écosystèmes urbains face aux changements climatiques ;
6. Répertorier les modalités d'interventions et les parties prenantes ainsi que les mécanismes de suivi et d'évaluation ;
7. Favoriser le financement mixte (public et privé), national et international et faciliter l'accès aux programmes de financement.

L'arsenal politique de l'Algérie en matière de lutte contre le phénomène du changement climatique se traduit par deux décrets et deux arrêtés :

- Décret exécutif n° 05-375 du 22 Chaâbane 1426 correspondant au 26 septembre 2005 portant la création de l'agence nationale des changements climatiques, et fixant ses missions et définissant les modalités de son organisation et de son fonctionnement.

- Décret exécutif n° 07-68 du Aouel Safar 1428 correspondant au 19 février 2007 complétant le décret exécutif n° 05-375 du 22 Chaâbane 1426 correspondant au 26 septembre 2005 portant la création de l'agence nationale des changements climatiques, et fixant ses missions et définissant les modalités de son organisation et de son fonctionnement.

Le Chef du Gouvernement, à l'issue du rapport du ministre de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement, et à l'appui du décret présidentiel n° 93-99 du 10 avril 1993 portant la ratification de la convention-cadre sur les changements climatiques, adoptée par l'assemblée générale des Nations Unies le 09 mai 1992, ainsi que le décret présidentiel n° 04-144 du 8 Rabie El Aouel 1425 correspondant au 28 avril 2004 portant la ratification du protocole de Kyoto à la convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques fait à Kyoto le 11 décembre 1997, aussi l'ordonnance n° 99-09 du 15 Rabie Ethani 1420 correspondant au 28 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable, le décret exécutif n° 93-165 du 10 juillet 1993, complété, réglementant les émissions atmosphériques de fumées, gaz, poussières, odeurs et particules solides des installations fixes. Et aussi le décret exécutif n° 20-115 du 20 Moharram 1423 correspondant au 3 avril 2002 portant création de l'observatoire national de l'environnement et du développement durable. Tous ces engagements favorisent l'introduction des préoccupations sur le climat dans l'économie nationale (tous les secteurs confondus). Ces mesures sont orchestrées par l'Agence Nationale des Changements climatiques (ANCC).

Selon l'article .2, l'Agence Nationale des Changements Climatiques (ANCC) est désignée "agence", s'agissant d'un établissement public à caractère administratif doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière, elle est placée sous la tutelle du ministre chargé de l'environnement. Elle a pour mission de promouvoir l'intégration de la problématique des changements climatiques dans tous les plans de développement et de contribuer à la protection de l'environnement. À l'échelon national, l'agence est chargée de mener des actions d'information, de sensibilisation, d'étude et de synthèse, dans les domaines ayant trait aux émissions et à la séquestration des gaz à effet de serre, à l'adaptation au changement climatique à l'atténuation de leurs effets et aux différents impacts socio-économiques.

Selon l'article. 6, l'agence est chargée de :

- Améliorer la capacité d'intégration des problématiques des changements climatiques à différentes échelles et à travers différents secteurs.
- Créer une base de données relative aux changements climatiques et veiller régulièrement à sa mise à jour.
- Publier des rapports périodiques sur l'inventaire des GES,

- Coordonner les actions sectorielles dans le domaine des changements climatiques et veiller à la synergie avec les autres domaines environnementaux.
- Promouvoir et participer à toutes les études et recherches, et tous travaux se rapportant à son objet.

L'Agence Nationale des Changements Climatiques est composée d'un conseil d'orientation de différents profils socio-professionnels, elle comporte un représentant du ministre d'État, et un représentant du ministre chargé des finances, de l'énergie, des ressources en eau, des transports, des forêts, de la santé, de la communication, de l'industrie, de la météorologie et de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique, de l'observatoire de l'environnement et du développement durable.

Sous la direction du ministère de l'Aménagement du territoire, de l'environnement et du tourisme, à l'appui de l'arrêté interministériel du 6 Dhou El Hidja 1428 correspondant au 15 décembre 2007 fixant l'organisation administrative de l'Agence Nationale des Changements Climatiques. Le décret exécutif n° 05-75 du 22 Chaâbane 1426 correspondant au 26 septembre 2005, complété et susvisé a pour objectif de fixer l'organisation administrative de l'ANCC, elle comprend :

- Département des études et de synthèse ;
- Département de l'inventaire et de la base des données ;
- Département de l'information et de la sensibilisation ;
- Département de l'administration et des finances.

Le département des études et de synthèse est chargée d'élaborer des études portant sur l'analyse et l'exploitation des résultats des travaux sur l'évolution du climat, des aspects scientifiques portant sur les scénarios d'émissions des gaz à effet de serre et des modèles climatiques relatifs aux ressources naturelles, des impacts et conséquences des changements climatiques sur l'ensemble des activités socio-économiques, en particulier ceux relatifs à l'environnement, l'énergie et le climat, d'élaborer des alternatives et des solutions qui portent sur les modèles nationaux et économiques, et l'intégration des changements climatiques dans les instruments de l'aménagement du territoire, d'élaborer des éclairages et indicateurs pour l'intégration du risque climatique dans la stratégie nationale économique de développement durable. Ce département se compose de trois services :

- Le service d'évaluation des impacts ;
- Le service technique et mesure d'adaptation ;
- Le service des projets de vulnérabilité et d'adaptation.

En contrepartie, le département de l'inventaire et de la base des données est chargé : de préparer et réaliser périodiquement l'inventaire national des gaz à effet de serre, d'inventorier les émissions nationales et sectorielles des gaz à effet de serre et de développer les techniques et les mesures d'atténuation de ces émissions, de contribuer à promouvoir les énergies renouvelables, de collaborer avec les autres départements ministériels et institutions au montage des projets sectoriels. Ce département se scinde en quatre services :

- Le service de l'inventaire des émissions des gaz à effet de serre,
- Le service de l'atténuation des gaz à effet de serre,
- Les services des projets d'atténuation des émissions des gaz à effet de serre,
- Le service des projets du mécanisme de développement propre.

Il est important de souligner que depuis 2000 l'Algérie a fait deux fois l'inventaire de ses émissions de gaz à effet de serre à l'échelle nationale. La première fois, dans une étude élaborée pour le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD), agréée par le Ministère des Affaires étrangères, ainsi que le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, et la seconde dans une communication nationale de l'Algérie auprès de la CCNUCC conformément à la décision 17/CP.8. Cette communication permettrait de mettre en exergue la capacité des secteurs, des institutions et des experts et de capitaliser les expériences acquises pour faire face aux changements climatiques. Cette deuxième communication s'est davantage focalisée sur l'amélioration de la qualité des données, des analyses et de l'information rapportées de toutes les parties prenantes à l'échelle nationale. De ce fait, cette mesure opte pour le renforcement de l'institutionnalisation des changements climatiques au niveau des ministères, des agences nationales et des différents organismes à toutes les échelles et la sensibilisation du grand public. Les principales composantes de la SCN (Second National Communication) sont : i) réaliser l'inventaire des GES pour l'année 2000, ii) estimer les impacts climatiques et prodiguer des mesures d'adaptation et iii) l'actualisation des analyses et des mesures d'atténuation des GES.

L'Algérie en 2000 et 2003, et sous la direction du MATE, a établi un Rapport National sur l'Environnement (RNE) dans lequel un profond diagnostic de la situation environnementale a été effectué. Ce rapport montre que le pays connaît une profonde crise de déforestation, désertification, d'appauvrissement de la diversité biologique, de dégradation des ressources en eau (qualité et quantité), de détérioration du cadre de vie, de l'intensification de la pollution transfrontalière et la prolifération des déchets urbains et industriels. Sans oublier pour autant que le pays a adopté une stratégie nationale environnementale et un plan national d'action pour l'environnement et le développement durable (PNAE-DD) en 2002, qui avait pour objectif d'atténuer les impacts négatifs exercés sur l'environnement.

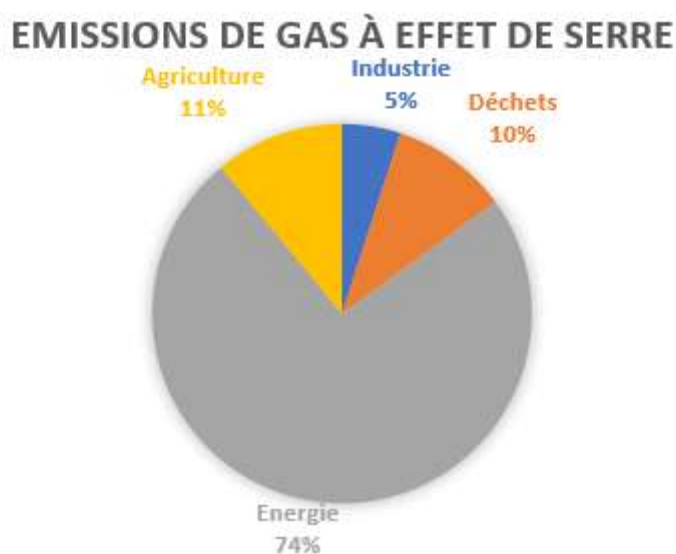
En effet, la préoccupation environnementale a été bien tétanisée par un agrégat d'ensemble de lois promulguées entre 2001 – 2004 notamment, 1) la loi relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable, 2) la loi relative à la gestion, au contrôle et l'élimination des déchets, 3) la loi relative à l'aménagement et au développement durable du territoire, 4) la loi relative à la protection et à la valorisation du littoral, 5) la loi relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable, 6) la loi relative à la création des villes nouvelles et aux conditions de leurs aménagements, 7) la loi relative à la protection des zones de montagne dans le cadre du développement durable, 8) la loi relative à l'aménagement et à l'urbanisme, 9) la loi relative à la protection des risques majeurs dans le cadre du développement durable.

L'Algérie en 2000 a établi son premier inventaire national des émissions de gaz à effet de serre (l'étude est faite en février 2010) (Fig.48), en utilisant la méthodologie promue par le GIEC. L'inventaire a couvert tous les gaz à effet de serre avancés par le Protocole de Kyoto notamment (CO₂, CH₄, N₂O), mais l'inventaire se focalise également sur les gaz indirects tels que Nox, CO, COVM et SO₂. Les résultats de cette étude sont donnés en t CO_{2,eq}.

Pour l'année 2000, l'Algérie a émis 117 310 Gg équivalents CO₂, en contrepartie, l'absorption de CO₂ par les forêts est évaluée à 14 167 Gg, ce qui reflète que les émissions nettes du pays s'évaluent à 130.143 Gg d'équivalents CO₂ (Fig.48).

Ces données traduisent que les émissions par habitant sont estimées à 2.61 tonnes par personne, à titre indicatif, la moyenne mondiale des émissions de CO₂ est estimée à 4.68 t CO₂ hab*an⁻¹. La composition sectorielle des émissions de gaz à effet de serre expose que le secteur d'énergie est responsable de 75% des émissions de GES du pays. Notons que l'incertitude de l'inventaire est estimée à 12.9%.

Figure 48 : Bilan des émissions de gaz à effet de serre.



Source : Office National des Statistiques, 2000.

Dans les tableaux (20 et 21), nous affichons le bilan carbone du pays scindé par chaque secteur.

Tableau 20: Émissions/Absorption totales des GES à effet direct.

Secteur d'activité	Émissions (Gg eq.CO ₂)	Absorption (Gg CO ₂)
Energie	87 597	0
Procédés industriels	5 463	0
Agriculture et forêts	12 822	14 167
Agriculture	6 535	0
Forêts	6 287	14 167
Déchets	11 428	0
Total	117 310	14 167

Source : Office National des Statistiques, 2013.

Tableau 21: Synthèse des émissions de gaz à effet de serre.

/	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC	PFC	SF ₆
Valeurs	77 612	1 579.27	21.14	0.01	0.0	NE

Source : Office National des Statistiques, 2013.

Sachant que la Seconde Contribution déterminée à l'échelle Nationale (SCN) dans ses directives pour l'horizon 2020 tiendrait en compte :

- L'élaboration des études sectorielles réalisées au niveau national à l'horizon considéré ;
- La projection concernant la population ;
- L'introduction de nouvelles tendances socio économiques "économie du marché" ;
- La fiabilité des projections concernant l'évolution future du climat et des incertitudes en matière de changements climatiques.

6.1.2. Perspectives

En dépit des mesures radicales et ambitieuses prises par l'État algérien afin de militer contre les changements climatiques, les actions entreprises à l'échelle nationale restent très embryonnaires et sans aucune perspective d'avenir, tandis que les actions à l'échelle des villes ne sont même pas prises en compte. L'échec des actions de mitigation peut être appréhendé par trois vecteurs :

1. La prise en charge de tous les gaz à effet de serre couverts par le Protocole de Kyoto et même ceux couverts par le Protocole de Montréal. En effet, le manque des capacités humaines et de profil socio-professionnel pourrait augmenter le degré d'incertitude des inventaires, d'une part, et de l'autre part, les recommandations restent assez superficielles sans aucune portée opérationnelle.
2. L'inventaire établi par l'État algérien est fait en diapason avec les directives du GIEC, ceci dit, seules les émissions du Scope 1 et Scope 2 sont répertoriées, alors que les émissions indirectes ne sont pas prises en compte, le manque de l'inventaire des émissions indirectes (Scope 3) pourrait en effet réduire la portée des actions/stratégies d'atténuations.
3. L'échelle d'inventaire, il est important de souligner que l'inventaire est fait à l'échelle nationale, bien que durant la COP21 à Paris, les scientifiques ont recommandé de faire des inventaires à l'échelle des villes, vu qu'elles représentent l'épicentre de la consommation énergétique et, par voie de conséquence, des émissions carboniques.

6.2. Le climat dans les outils de planification et de régulation en Algérie

L'Algérie détient plusieurs outils de planification, d'orientations et régulations qui se manifestent via plusieurs imbrications d'échelles, tels que le Schéma National d'Aménagement du Territoire (SNAT), le Schéma d'Équipements et de Programmation Territoriale (SEPT), le Schéma Directeur d'Aménagement de l'Aire métropolitaine (SDAAM), le Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (PDAU) et le Plan d'Occupation des Sols (POS).

Depuis l'émergence de la préoccupation climatique, les trois outils SNAT, SEPT et PDAU d'Alger se sont actualisés pour intégrer les nouvelles réflexions sur le climat au niveau de la planification urbaine locale. Par planification urbaine, on désigne l'ensemble de règles qui encadrent l'initiative humaine sur un territoire.

La planification urbaine en Algérie est composée de deux volets i) des Plans et ii) des Règles. L'Algérie opte pour la réanimation des réflexions urbaines par le biais des outils portant le nom "*Schéma*", s'agissant des documents d'orientation stratégiques pour la réflexion urbaine d'un territoire donné, et des outils portant le nom de "*Plan*" fixant les droits d'usages du sol, par contraste au "*Schéma*" fournissant seulement des orientations générales.

6.2.1. Le SNAT et le climat

Le SNAT est initié par l'État central, il s'agit d'un instrument qui exprime une vision prospective de l'occupation du territoire à long terme. Il fixe l'orientation fondamentale en matière d'aménagement, d'organisation et de développement durable du territoire national. Le SNAT vise notamment à i) garantir l'exploitation rationnelle de l'espace national (activités, population, emplois, ressources naturelles, ...) et ii) assurer une bonne cohérence des choix nationaux avec les projets régionaux. Le SNAT vise à offrir un panorama global de développement du territoire algérien en se basant sur la triade i) composante économique, ii) composante sociale, et iii) composante culturelle. L'outil offre quatre lignes directrices : i) La durabilité des ressources, ii) Le rééquilibrage du territoire, iii) L'attractivité et la compétitivité des territoires, et iv) L'équité sociale et territoriale. Ces quatre lignes se déclinent à leur tour en vingt Programmes d'Action Territoriale (PAT). Parmi les objectifs du SNAT, nous y trouvons la protection et la valorisation des écosystèmes (y compris les écosystèmes forestiers), et la prévention des risques majeurs tels que les risques climatiques et le feu de forêt.

6.2.2. Le SEPT et le climat

Le SEPT, quant à lui, pourrait être appréhendé comme étant un schéma de détail de relais et d'appui, il permettrait de raffiner les schémas d'organisation. Le SEPT se fait à l'échelon inter-wilayal, autrement dit, des régions, il est aussi initié par l'État central. En suivant les directives du SNAT, le SEPT fixe les orientations et prescriptions spécifiques au développement durable du territoire régional pour chaque Région-Programme. Il est constitué de quatre éléments i) État des lieux, ii) Document d'analyse prospective, iii) Document cartographique relatif aux projets d'aménagements de la région programmée et iv) Recueil des prescriptives y afférant. Notons que le SRAT est valide durant la période de validité du SNAT. L'objectif ultime du SRAT est d'amortir d'une manière progressive les déséquilibres et les disparités interrégionales. Parmi les 13 Programmes d'Actions Territoriales qui sont préconisés au niveau de SEPT, nous y trouvons i) environnement et protection, ii) environnement et cadre de vie, iii) développement agricole et rural et iv) sauvegarde et valorisation du patrimoine naturel. Toutes les directives sont prises pour réorganiser l'équilibre territorial et réduire les pressions environnementales.

6.2.3. Le SDAAM et le climat

Le SDAAM s'anime en harmonie avec le SRAT, il fixe les orientations de développement durable du territoire des aires métropolitaines (Grand-Alger par exemple). Il est constitué de : i) cartes d'équipements sectoriels, ii) infrastructures de transports, iii) révisions de réalisation des logements et structures collectives. Le SDAAM est proposé seulement pour les aires métropolitaines à savoir : Alger, Oran, Annaba et Constantine. Parmi les lignes directrices des SDAAM, nous y trouvons les orientations générales de protection et de valorisation de l'environnement.

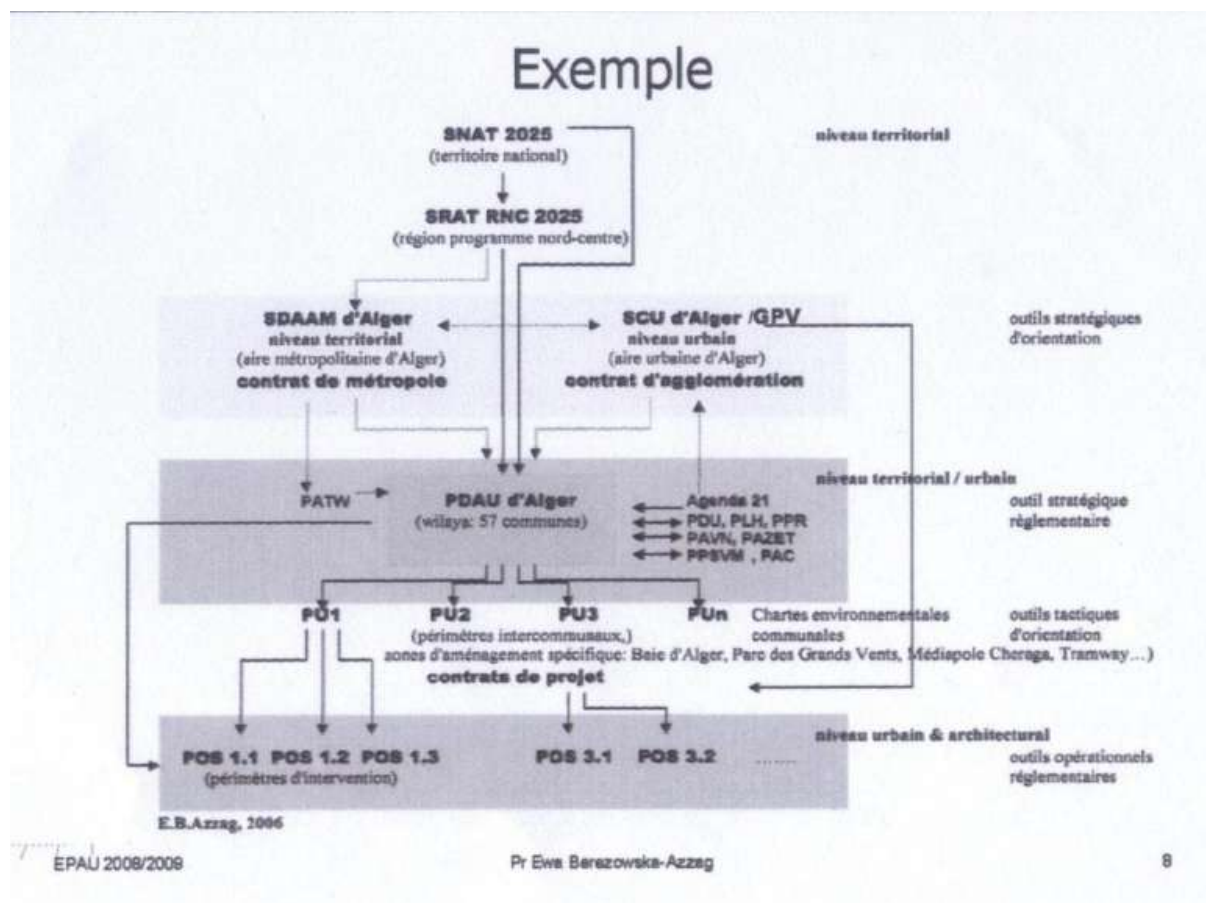
6.2.4. Le PDAU et le climat

Le PDAU, s'agissant d'un instrument réglementaire et de gestion urbaine qui offre une vision stratégique et des propositions d'organisation et d'actions sur un échelon donné, il offre une vision prospective de développement en prenant en compte la richesse du territoire traité. Cet instrument s'anime autour de trois objectifs i) Définir les grands projets d'équipements, de services et d'infrastructure au niveau local, ii) concrétiser une politique de préservation des espaces sensibles (forêt, littoral, patrimoine et environnement), iii) identifier le cadre de développement spatial communal et iv) évaluer les incidences de l'aménagement sur le long terme. En effet, le PDAU se caractérise par i) son obligation pour les collectivités territoriales, ii) il est opposable aux tiers, iii) il opte pour une réflexion à long terme, 20 ans, iv) il est issu d'un chevauchement de plusieurs secteurs complexes et compliqués. La philosophie des PDAU généralement se scinde en quatre types de raisonnement i) Secteur urbanisé, ii) Secteur à urbaniser, iii) Secteur d'urbanisation future et iv) Secteur non urbanisable. Et il se compose de trois documents qui se renforcent mutuellement: i) un rapport d'orientation, ii) un règlement et iii) des documents graphiques.

En dépit des outils et instruments de planification urbaine en Algérie (Fig.49), et en particulier à Alger, la prise en compte du climat et des émissions de gaz à effet de serre dans le contexte urbain reste traité d'une manière très embryonnaire et avec moins d'importance que le volet économique, esthétique et fonctionnel.

En effet, le poids carbone d'une personne vivant à Alger est estimé à 2.2 t CO₂ qui n'est pas aussi importante et n'inflige nullement le cycle biogéochimique du carbone, sauf que les villes qui se caractérisent par une croissance urbaine rapide (croissance économique et démographique) peuvent se trouver dans le futur proche dans l'obligation de maîtriser leurs émissions de gaz à effet de serre, là où les techniques requises et les expériences nécessaires ne seront pas disponibles.

Figure 49 : Structure des outils et instruments d'application des principes de la durabilité à différentes échelles en Algérie.



Source : Ewa B-Azzag, 2004.

Lors de la conférence de la COP 21 de Paris, tous les pays du monde et leurs villes doivent inventorier leurs gaz à effet de serre et, par voie de conséquence, booster l'achèvement des économies à bas carbone et promouvoir des planifications urbaines sobres en carbone. En dépit des ambitions et des engagements des parties prenantes de l'Algérie via leurs outils d'urbanisme et l'arsenal politique en faveur du climat, leurs stratégies et actions, à l'échelle nationale et celle des villes restent dominées par une nonchalance opérationnelle, et le manque d'une vision holistique et prospective du développement socio-économiques des villes, voire même des régions.

6.3. Modélisation de l'outil par le biais de la City Capacité de Charge Carbone (C⁴)

Les instruments de planification urbaine locaux (PDAU et POS) sont jugés d'avoir planifié l'échec (Sidi Boumedine 2013), produisant un tissu urbain incohérent et une société urbaine moins créative. Par la suite, des solutions-tunnels ont été proposées par quelques experts consistant à introduire le PLU (plan local d'urbanisme) comme un remède aux maux urbains, vu que les anciens instruments (PDAU et POS) sont qualifiés inaptes à redresser la dynamique urbaine algéroise. Notre réflexion s'inscrit dans une logique de requalification des

instruments locaux déjà disponibles, cette initiative permettrait de i) gagner du temps, ii) familiariser les autorités territoriales avec les instruments existants et iii) encourager l'aspect d'innovation et de créativité.

Comme nous l'avons mentionné dans la section (5.2.1), le cycle du carbone dans la biosphère se traduit par la circulation de l'atome du carbone entre quatre réservoirs (biosphère, lithosphère, hydrosphère et atmosphère). Sachant que chaque bassin de carbone retient une capacité de puits de dioxyde de carbone par rapport à i) les zones biologiques et climatiques, ii) le type de sol et iii) la température (GIEC, 2006). Afin de calculer le stock de carbone dans le sol (forêts, terres cultivées et prairies) et la séquestration du carbone des terres forestières par photosynthèse, des données ont été extraites des lignes directrices du GIEC (GIEC, 2006). Notez que la présente recherche emprunte l'approche de Tiers 1, qualifiée comme étant la méthode la plus simple à utiliser et pour laquelle des valeurs par défaut sont fournies par le GIEC. Sachant que les approches Tiers 2-3 nécessitent des données spécifiques par pays ou par région pour une période de plus d'un an qui ne sont pas disponibles dans le cas d'Alger. Toutefois, l'utilisation des approches de Tiers 2-3, d'une part, permet d'affiner l'exactitude de l'inventaire et de minimiser l'incertitude et, d'autre part, l'inventaire sera plus complexe en raison du traitement d'un large panel de données de différentes années et échelles.

Cette recherche propose d'intégrer la "*la Capacité de Charge de Carbone (C³)*" au niveau du PDAU d'Alger pour dérouter son modèle urbain matérialisé afin de retisser le modèle urbain existant vers un modèle mieux soutenable, équitable, respectueux de l'environnement et sobre en carbone. Dans ce contexte, il est important de mentionner que le cycle biogéochimique du carbone est un phénomène à processus multiples qui rend la Terre capable de **soutenir la vie**, il est étroitement lié aux cycles de l'azote (N), du phosphore (P), du soufre (S), de l'oxygène (O₂) et aux autres éléments bio-essentiels, dans lesquels l'atome de carbone est échangé le long de i) la biomasse, ii) la pédosphère, iii) l'hydrosphère, vi) l'atmosphère (Mackenzie et al. 1980). Néanmoins, chaque réservoir de carbone possède une capacité limitée de puits de carbone (par exemple, Atmosphère : ~720 gigatonnes ; Océan : ~38 400 gigatonnes ; Biosphère : ~2 000 gigatonnes). En tant que telles, les sociétés modernes devraient vivre en dessous des limites du budget carbone de leur environnement afin de réduire leur empreinte climatique, préserver la biodiversité urbaine et améliorer l'intégrité de la biosphère.

De même, la capacité des puits de carbone pourrait être un facteur pertinent de limitation de la croissance démographique, en particulier dans les pays en développement où se produit près de 66% de la croissance démographique mondiale, la capacité de charge carbone pourrait représenter une approche cohérente pour tétaniser l'efficacité des outils de planification urbaine, et renforcer les stratégies et politiques existantes en vue consolider la résilience des écosystèmes urbains face au changement climatique et à la perte de biodiversité.

La C³ est une capacité de charge basée sur l'environnement qui se concentre principalement sur la comparaison de deux processus clés de la deuxième loi de durabilité (Costanza and Daly 1992b, 1992a) en déterminant combien de personnes pourraient être soutenues par une ville (c'est-à-dire la ville et sa région/hinterland). Par conséquent, la capacité de charge en carbone des villes est un indicateur composite qui compare la capacité du potentiel de puits de carbone naturel et technologique et les émissions directes de carbone des villes (émissions des Scopes 1 et 2) en utilisant la mesure t CO₂/an. L'idée qui sous-tend *City Carbon Carrying Capacity* (C⁴) des villes est de i) créer un outil de référence local qui peut en retour accroître la concurrence des villes pour réduire les émissions urbaines de carbone ; ii) restaurer les actifs écologiques des villes et iii) surveiller les phénomènes de croissance urbaine en mettant l'accent sur la composante anthropogénique et environnementale puisque les limites préconisées par la C⁴ ne sont pas des cibles à atteindre, mais plutôt un seuil supérieur qu'on ne devrait pas dépasser.

Quoi qu'il en soit, depuis le XXe siècle, plusieurs chercheurs s'accordent à dire que la représentation graphique ou bien le langage graphique représente, par excellence, le principe de la modélisation systémique. En effet, ce langage graphique représente une description figurée (symbolisée) d'un système donné en exposant ses éléments internes, sa fonction et sa finalité. Dès lors, la logique promue par *City Carbon Carrying Capacity* (C⁴) a été symbolisée suivant les directives de l'approche système, qui prône que, en penchant sur trois facteurs: i) l'environnement du système avec ses frontières, pour notre cas, ce sont les frontières administratives d'Alger, bien que l'hinterland d'Alger dépasse les limites administratives, ii) Le système per se, pour notre cas les composants du système anthropique et naturel, et iii) les composants internes (sous-systèmes, processeurs) du système aussi bien naturel qu'anthropique et leurs modes de contrôle par le biais des centres de décisions (vannes).

6.3.1. Les processeurs du système anthropique

Les processeurs du système anthropique sont tous des sous-systèmes urbains artificiels responsables d'émettre des gaz à effet de serre au sein des limites administratives des villes, pour le concept du *City Carbon Carrying Capacity* (C⁴) framework, se sont les sous-systèmes responsables d'émissions territoriales, autrement dit, les émissions des gaz à effet de serre provenant de :

- *Scope 1 : émissions directes* : émissions provenant de la combustion des combustibles, des déchets, des procédés industriels et de l'utilisation des produits : agriculture, foresterie et autres utilisations du sol à l'intérieur des limites de la ville - à l'intérieur de la ville, du territoire et de la géographie.
- *Scope 2 : émissions indirectes* : liées à l'énergie : émissions résultant de l'utilisation de l'électricité achetée : chaleur, courant et/ou refroidissement à l'intérieur des limites de la ville -à travers et non à travers de la ville-.

La présente recherche identifie quatre secteurs-clés, avec différents ordres d'importance, afin de fournir des mesures/stratégies d'atténuation des gaz à effet de serre qui sont :

- Agriculture;
- Industries;
- Bâtiments (secteur tertiaire et maisons) ;
- Transport.

6.3.2. Les processeurs du système naturel

Les processeurs des systèmes naturels sont toutes les composantes entrant en relation avec l'échange de l'atome du carbone avec chaque milieu (par milieu, nous faisons référence aux réservoirs : atmosphère, hydrosphère, biomasse et lithosphère). Dès lors, les sous-systèmes du système naturel sont :

- L'hydrosphère (océans, lacs, rivières,...) ;
- Lithosphère (moutons et sols) ;
- Biomasses (plantes chlorophylles autotrophes) ;
- Atmosphère (couche d'ozone, qu'est depuis la révolution industrielle considérée comme étant un commun qui appartient à tous, et donc changer le climat est une affaire de tous et donc de personne).

Le système que nous proposons s'agissant d'un système hybride composé via l'inoculation entre un **système à but** (qui possède un mécanisme de régulation interne: capacité d'atteindre l'objectif assigné), et un **système à décideurs multiples** (vu que notre système opte pour l'amplification de la sphère intégratrice des acteurs: niveau d'organisation hiérarchique), le résultat de cette inoculation donne vie à un système hybride et complexe ayant la capacité de dérouter le modèle urbain d'Alger suivant une finalité souhaitée qu'est la soutenabilité environnementale et la résilience climatique '*carbon equilibrium*'. Notez que ce système pourrait être mis à niveau vers un **système intelligent** ayant une mémoire propre et capable de s'auto-organiser d'une manière autonome (prendre des décisions) en utilisant des algorithmes de Machine Learning (ML) et Deep Learning (DL). Malheureusement, notre recherche ne se focalise pas sur l'informatisation de ce système bien, que ce soit faisable.

6.4. Intégration du City Carbon Carrying Capacity (C⁴) dans le PDAU d'Alger

Étant donné que le PDAU est envisagé comme étant un outil règlementaire et d'orientation de développement et d'aménagement de la Wilaya d'Alger en prenant en compte les limites administratives de celle-ci, cet outil devrait alors intégrer une nouvelle dimension, celle du climat afin de mieux guider le processus de développement socio-économique d'Alger.

La présente partie opte pour déceler l'adaptabilité de la *City Carbon Carrying Capacity (C⁴) framework* avec les lignes directrices du PDAU. Tout d'abord, il faut savoir que le PDAU d'Alger est constitué via sept piliers :

- *Alger, ville emblématique* : qui permettrait de positionner Alger sur la carte du monde.
- *Alger, moteur du développement tertiaire de l'Algérie* : qui permettrait de booster l'aspect socio-économique et d'être la locomotive du pays.
- *Alger, éco-métropole de la Méditerranée et ville jardin* : un pilier visant à réduire l'empreinte écologique d'Alger et à réanimer la place du système environnemental algérois.
- *Alger, ville des mobilités et des proximités* : offrant, via plusieurs plans et stratégies de développement, de desservir le territoire algérois et de structurer les schémas de déplacements via l'introduction de la multimodalité.
- *Alger, ville sûre* : offrant la possibilité d'établir des plans des risques majeurs d'Alger visant, à travers une approche proactive, à tétaniser la résilience de l'écosystème urbain algérois.
- *Alger, ville, empreinte de bonne gouvernance* : insistant sur l'échange entre les parties prenantes d'une manière digitalisée, fluide et d'une prise de décision à la fois rapide et efficace.

Le PDAU d'Alger vise à fabriquer une ville future ayant un poids sur la carte du bassin Méditerranéen en se reposant sur six piliers à quatre échelles qui se renforcent mutuellement, le pilier n°4 intitulé : "*Environnement | Protection et Valorisation*" opte pour la restauration de l'équilibre écologique d'Alger, tout en surpassant les risques et les menaces naturels et technologiques. Façonner une nouvelle Alger en réduisant son empreinte écologique tout en concevant des remèdes mieux adaptés aux problèmes. Sauf que la majorité des mesures prises au sein de ce volet restent dominées majoritairement par une approche qualitative, bien que dans la nouvelle ère géologique baptisée "*anthropocène*", on devrait inclure une approche quantitative pour i) fixer des seuils limites à la croissance et ii) dérouter les modes de vie et les paradigmes de production-consommation vers des pratiques pro-climat qui peuvent être utilisées comme des assiettes pour élargir les actifs écologiques d'Alger.

L'idée de *City Carbon Carrying Capacity (C⁴)*, du fait qu'elle suive une approche quantitative, pourrait trouver sa place au sein du pilier numéro quatre "*Alger, éco-métropole de la Méditerranée et ville jardin*" sachant que ce pilier est projeté dans une épaisseur temporelle couvrant quatre ans de 2020 – 2024. Dans cette troisième phase d'intervention stratégique sur le territoire d'Alger, au cours de ces quatre années, une dynamique de

développement de la périphérie algéroise sera entamée, notamment via l'élargissement de la baie d'Alger et l'aménagement et la requalification des avenues transversales périphériques.

Les orientations prônées au niveau du pilier n°4 auront encouragé la mise en œuvre du projet de tram-train de la rocade, comme étant un vecteur de rénovation du système de mobilité dans la ville, qui permet de restructurer et de renforcer les activités socio-économiques d'Alger, mais également de substituer l'utilisation de la voiture particulière en poussant les habitants d'Alger vers l'utilisation des transports publics, suite au renforcement de l'infrastructure et l'intermodalité des transports en commun en site propre. Dès lors, l'injection de la *City Carbon Carrying Capacity* au sein du PDAU pour l'échéance temporelle de 2020 – 2024 pourrait i) redresser le style de vies des Algérois, ii) changer les habitudes de consommation et de déplacements, iii) symboliser un modèle urbain sobre en carbone et iv) introduire de nouvelles lignes directrices relatives à la gestion durable des forêts (Fig.50).

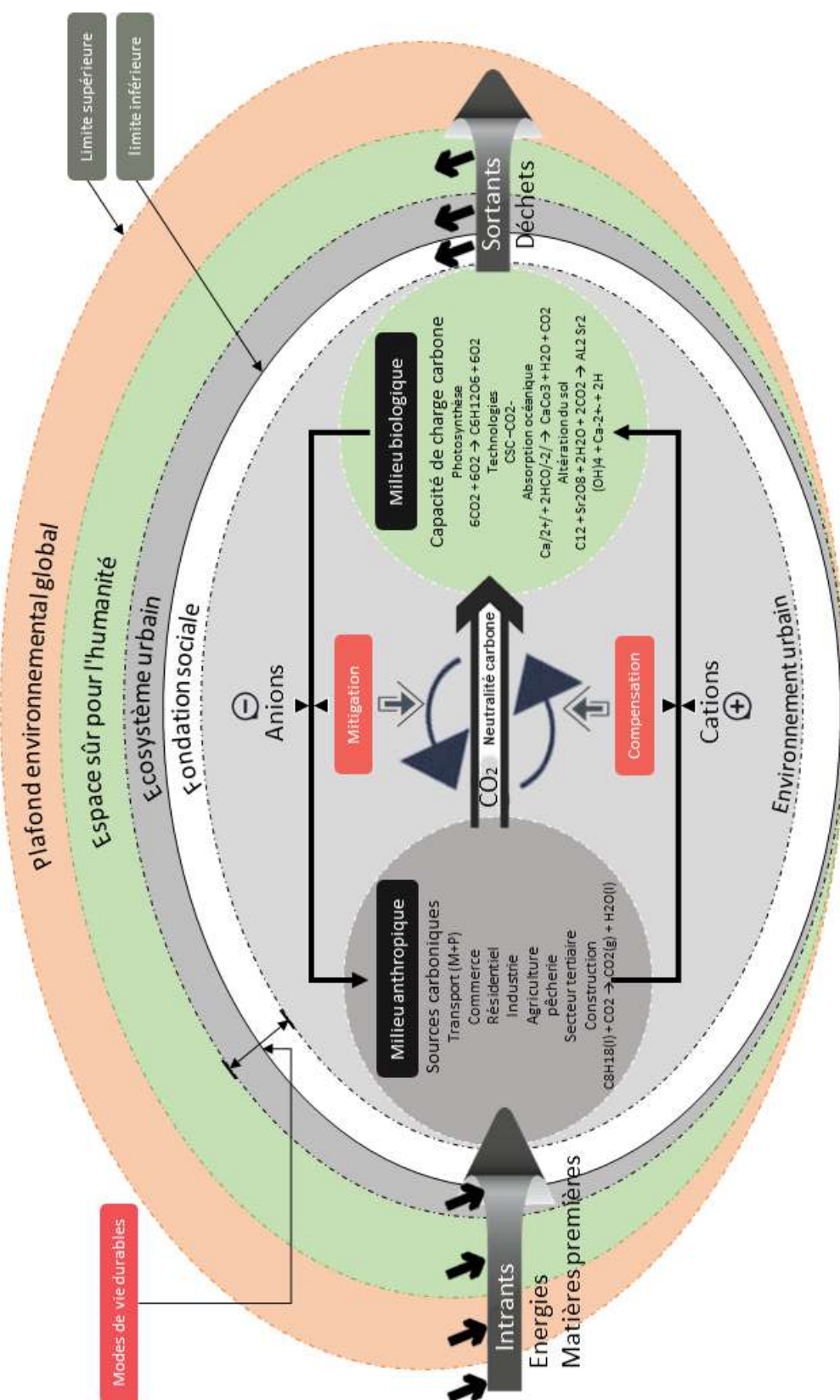


Figure 50 : Outil de monitoring-controlling du modèle urbain d'Alger.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exposé la portée des actions en faveur du climat en Algérie qui restent des actions très embryonnaires et sans aucune perspective d'avenir. Nous avons également montré que l'inventaire des gaz à effet de serre en Algérie est fait en diapason avec les lignes directrices promues par le GIEC, le Protocole de Kyoto ou encore l'agrément de la COP 21 de Paris, qui se focalisent seulement sur les émissions territoriales, autrement dit, ce type d'inventaire compte seulement les émissions carboniques issues du Scope 1 et du Scope 2. Toutefois, il est mis en exergue que l'approche CBA '*Consumption-Based Approach*' pourrait être prise comme étant une approche complémentaire de la comptabilisation des émissions des GES axée sur les territoires, en ajoutant une nuance critique au débat sur les actions et les stratégies de mitigation des changements climatiques en mettant l'accent sur la responsabilité des consommateurs dans une économie mondialisée. Pourtant, les responsables municipaux ignorent en grande partie leurs émissions indirectes en doutant de leur capacité à les compter et à les contrôler.

Bien que le PDAU d'Alger se présente comme étant un instrument réglementaire de développement, de création de richesse et d'amélioration du bien-être des populations, il est inapte à atteindre ses objectifs assignés, il devrait inclure des analyses approfondies des seuils de tolérance et de limite, en empruntant une approche quantitative, il devrait établir un diagnostic approfondi pour pouvoir évaluer la performance écologique et répondre aux questions relatives au développement socio-économique d'Alger de demain. Les parties prenantes, plus que jamais, doivent faire des états des lieux annuels pour pouvoir suivre et contrôler le profil socio-économique Algérois. Enfin, on s'accorde à dire que la wilaya d'Alger est un territoire vulnérable fonctionnant au-delà de ses seuils de tolérance écologique, c'est pour cela qu'il devrait développer des plans et des stratégies de résilience, notamment ceux relatifs au climat, lui permettant de rebondir sur des perturbations en gardant sa structure et sa fonction après avoir subi une perturbation des changements climatiques, et ce, par des mesures de mitigation et d'adaptation.

Bien que les changements climatiques soient considérés comme étant la première menace mondiale identifiée au cours du XX^e siècle menaçant les écosystèmes à travers plusieurs échelles, les scientifiques du GIEC affirment que les coûts nets des dommages causés par le bouleversement du système climatique de la biosphère sont susceptibles d'être importants et d'accroître avec le temps. Dès lors, il est important d'agir maintenant, collectivement et différemment, en faveur d'une résilience climatique qui devrait être développée surtout au niveau des écosystèmes écologiques, urbains et sociaux par le biais de i) l'absorption de la perturbation des pressions extrêmes externes et ii) l'adaptation, la réorganisation et l'évolution vers une configuration désirable afin d'améliorer la durabilité du système urbain d'Alger.

Conclusion générale

Depuis la signature de l'accord climatique de Paris en 2015, la ville est devenue un élément central de première importance pour la lutte contre le phénomène du changement climatique et, avec des mesures différenciées, tous les pays et, par voie de conséquence, toutes les villes du monde sont exhortées à i) établir des inventaires de gaz à effet de serre à différentes échelles d'intervention et en prenant en compte les différents types d'émissions (territoriales et virtuelles, production et consommation), ii) prodiguer des stratégies de mitigation gaz à effet de serre et iii) opter pour le changement des modes de consommation locale vers des modes plus adaptés aux exigences climatiques et la mise en place d'une durabilité mondiale. Cependant, nos villes du XXI^e siècle sont considérées comme étant des *systèmes hyper-complexes* ayant un métabolisme socio-économique ouvert, linéaire et imparfait produisant des *villes débiteurs écologiquement*. En tant que telles, les villes devraient s'engager à réduire leur bilan carbone dans le milieu urbain (directes et indirectes) ; améliorer la capacité de faire face, de résistance et de résilience des actifs écologiques pour préserver le fonctionnement correct et autonome des services écologiques, en particulier les services de support et de régulation.

Malgré leurs aspects perturbateurs, les villes offrent également une opportunité de renouvellement, de régénération, de remodelage et de reconstruction en agissant simultanément sur plusieurs secteurs connus sous le nom *multiplicateur de durabilité*. Car, à l'échelle de la ville, nous pouvons gérer les densités, optimiser les flux d'énergie et de matières premières, où la taille de la population peut être surveillée et contrôlée et où les modes de transport peuvent être substitués, en particulier dans les villes émergentes et celles en développement des pays d'Afrique, d'Amérique latine et d'Asie du Sud-Est qui connaissent les taux de croissance démographique les plus élevés au monde. Dès lors, les villes peuvent être appréhendées comme étant des objets anthropiques positifs qui peuvent participer à la mise en place de la durabilité mondiale.

Toutefois, agir pour le climat n'a jamais été une initiative facile à prendre. En effet, il n'est pas surprenant que de nombreux pays en développement ayant une structure économique en développement puissent être pris au piège de l'idée fausse selon laquelle, d'un point de vue économique, ceux qui agissent en premier pour le climat pourraient être en situation économique concurrentielle désavantageuse (en particulier pour les grandes économies : Chine, Inde et Brésil). Cependant, nous sommes convaincus que le contraire est systématiquement vrai, car les économies en développement devraient orienter leur croissance économique en fonction des circonstances climatiques actuelles, afin de mieux façonner leur avenir respectueux du climat avec des économies à moindre coût en ressources, et concevoir une plus grande capacité de réaction aux perturbations climatiques.

La nouveauté de cette étude est qu'elle fournit les premières indications sur les principaux facteurs/secteurs clés des émissions de carbone urbain d'Alger en utilisant le cadre de la *capacité de charge de carbone* développée dans cette recherche avec sa portée méthodologique. Elle déclenche de manière cohérente des stratégies prometteuses de réduction des émissions de carbone, en particulier pour le transport et le logement, et elle souligne également que les actifs écologiques d'Alger sont en déclin persistant. Les résultats pour l'inventaire du carbone « *carbon footprint* », le puits de carbone « *carbon sink* » et le dépassement de carbone « *carbon overload* » sont reportés en t CO₂ pc*an⁻¹. Enfin, une pléthore d'actions opérationnelles et de points de levier pour stimuler les politiques locales pro-climat sont examinées en mettant l'accent sur les sources d'émission de carbone (territoriales et virtuelles) et les puits de carbone d'Alger. La présente recherche montre qu'à l'échelle des villes algériennes aucune stratégie n'est prise, pour le moment, en faveur du climat en supposant que la raison réside dans le fait que le bilan carbone du pays ou encore le bilan carbone par personne des villes algériennes ne pèse aucune importance par rapport aux autres pays/villes émergents, tels que les villes chinoises, par exemple.

Néanmoins, en vue d'introduire Alger avec son économie en développement vers un futur sobre en carbone tout en fonctionnant en diapason avec les accords du climat global, la présente étude propose le cadre théorique de la *capacité de charge de carbone (C³)* afin de mieux maîtriser les émissions de gaz à effet de serre dans le contexte urbain d'Alger et de participer même à atteindre les objectifs assignés au sein de la CDN soumis à la CCNUCC, et même d'avoir l'ambition à les dépasser en promouvant une Alger à la fois résiliente et neutre en carbone. Cette étude offre une première estimation des émissions de CO₂ à l'échelle de la wilaya d'Alger et sa capacité de stockage du carbone (via les puits de carbone présents au sein de ses limites administratives). Le cadre de la “*Capacité de Charge de Carbone (C³)*” opte pour que chaque programme, plan ou stratégie de développement urbain futurs doivent, à priori, évaluer d'une manière approfondie la capacité de charge carbone de chaque territoire et étudier les possibilités de l'augmenter et de veiller à ce que l'équilibre entre les émissions carboniques territoriales et la capacité de stockage du carbone soit atteint.

La finalité de cette recherche est de répondre aux hypothèses posées préalablement. En effet, la première hypothèse étant affirmée « *nous supposons que la capacité d'assimilation des puits carbone ne peut pas absorber la totalité des outputs gazeux (CO₂) générés par le métabolisme socio-économique Algérois (lors de la transformation des substances énergétiques par la population algéroise)* » vu que le métabolisme socio-économique algérois produit un bilan de carbone équivalent à 392 924 3 tCO₂, tandis que la capacité de charge carbone de la wilaya d'Alger est estimée à 157 404 4 tCO₂. L'analyse montre que les émissions de carbone d'Alger dépassent de 1,5 fois la capacité des puits de carbone de la ville.

Quant à la deuxième hypothèse, étant malheureusement infirmée, dans laquelle nous avons supposé que *« les émissions indirectes d'Alger ont le même ordre d'importance que les émissions directes et si nous réduisons les émissions indirectes, nous serions dans une situation favorable pour amortir la dette carbonique. »* vu que les émissions indirectes d'Alger (Scope 3), qui sont des émissions carboniques produites tout au long de la chaîne de production-consommation des produits et services achetés du marché national et/ou international et consommés par les consommateurs locaux (les ménages d'Alger pour notre cas), dépassent les émissions territoriales et sont estimés à 1.42 t CO₂ pc*an⁻¹. Autrement-dit, même si la wilaya d'Alger exclut totalement ses biens et services achetés via le marché mondial et dérouté le comportement des dépenses des consommateurs algérois vis-à-vis de la consommation de produits locaux, qui sont finalement associés à une empreinte carbone réduite, elle sera dans une situation de déficit de carbone. Dès lors, amortir la dette carbone d'Alger est faisable que par l'introduction d'une gestion durable des forêts au sein des outils de planification (PDAU et POS) et le maintien, la préservation et la croissance de ses actifs écologiques.

La troisième hypothèse étant affirmée dans laquelle nous avons supposé que *« la modélisation d'un outil d'aide à la décision (par la C³) pourrait dérouter le modèle urbain algérois vers un modèle peu consommateur d'énergie et moins émetteur des GES. »* ; en effet, l'injection de la "capacité de charge de carbone" au niveau des 4^e piliers du PDAU *« Alger, éco-métropole de la Méditerranée et ville jardin »* sur un échéancier temporel de quatre ans passant de 2020 – 2024 pourrait représenter la première pierre en vue i) réduire le bilan carbone d'Alger, ii) restaurer les écosystèmes forestiers et iii) renforcer la résilience climatique de l'écosystème urbain d'Alger.

Enfine, La *Capacité de charge de Carbone (C³)* fonctionne en diapason avec les lignes directrices du SNAT, SEPT, SDAAM et PDAU optant notamment pour i) le freinage de la littoralisation et l'équilibrage du littoral, ii) la maîtrise de la croissance de la frange littorale en lui assurant un développement plus qualitatif et équilibré et iii) la restauration des actifs écologiques et la protection de la biodiversité. Pour une future recherche, la présente étude présente le soubassement pour convertir le modèle graphique développé dans la présente étude à un système informatique, ayant une mémoire et une capacité auto-organisatrice lui permettant de prendre des décisions autonomes en utilisant des algorithmes d'intelligence artificielle (AI)

Bibliographie

- Adams, John. 2002. *Risk*. Routledge.
- AFSCET. 2014. "Modélisation d'un Réseau d'AEP et Contribution à Sa Gestion à l'aide d'un SIG-Cas Du Groupement Urbain de Tlemcen."
- Alex, Bastien. 2014. "Préserver la sécurité à l'anthropocène." *Vraiment durable* 5/6(1):177. doi: 10.3917/vdur.005.0177.
- Allain, Rémy. 2005. "Ville et Proximité. Le Point de Vue d'un Géographe-Urbaniste." *Mots. Les Langages Du Politique* (77):129–136.
- Almond, R. E. A., Grooten M, and T. Petersen. 2020. *Living Planet Report 2020: Bending the Curve of Biodiversity Loss*.
- Arrow, Kenneth, Bert Bolin, Robert Costanza, Partha Dasgupta, Carl Folke, Crawford S. Holling, Bengt-Owe Jansson, Simon Levin, Karl-Göran Mäler, and Charles Perrings. 1995. "Economic Growth, Carrying Capacity, and the Environment." *Ecological Economics* 15(2):91–95.
- Athanassiadis, Aristide, Robert H. Crawford, and Philippe Bouillard. 2015. "Overcoming the 'Black Box' Approach of Urban Metabolism." Pp. 547–556 in *Living and Learning: Research for a Better Built Environment, 49th International Conference of the Architectural Science Association, The Architectural Science Association and The University of Melbourne, Melbourne, Australia*.
- Atkinson, Adrian. 2008. *Techniques and Technologies for Sustainability: Proceedings: International Conference and Summer School 2007*. Univerlag tuberlin.
- Aykut, SC, and A. Dahan. 2015. "Gouverner le climat? Vingt ans de négociations internationales." *Revue d'anthropologie des connaissances* Vol. 13, N°3(3):935–42.
- Aykut, Stefan, and Amy Dahan. 2014. "Gouverner Le Climat? 20 Ans de Négociations Climatiques." *Une* 750:23.
- Azzag, Berzwerzka. 2008. "Quelle Maîtrise Environnementale Pour Un Tourisme Durable ?"
- Baabou, Wafaa, Nicole Grunewald, Claudiane Ouellet-Plamondon, Michel Gressot, and Alessandro Galli. 2017a. "The Ecological Footprint of Mediterranean Cities: Awareness Creation and Policy Implications." *Environmental Science & Policy* 69:94–104. doi: 10.1016/j.envsci.2016.12.013.
- Baabou, Wafaa, Nicole Grunewald, Claudiane Ouellet-Plamondon, Michel Gressot, and Alessandro Galli. 2017b. "The Ecological Footprint of Mediterranean Cities: Awareness Creation and Policy Implications." *Environmental Science & Policy* 69:94–104. doi: 10.1016/j.envsci.2016.12.013.

- Bakour, Mohammed, and Tahar Baouni. 2015. "Étalement Urbain et Dynamique Des Agglomérations à Alger: Quel Rôle Pour La Promotion Administrative?" *Cahiers de Géographie Du Québec* 59(168):377–406.
- Bakour, Mohammed, Tahar Baouni, and Thomas Thevenin. 2018. "La dépendance automobile à Alger : entre efficacité du système automobile et précarité du système de transport." *RTS - Recherche Transports Sécurité* 2018:26p. doi: 10.25578/RTS_ISSN1951-6614_2018-01.
- Balk, Deborah, Francesca Pozzi, Gregory Yetman, Uwe Deichmann, and Andy Nelson. 2005. "The Distribution of People and the Dimension of Place: Methodologies to Improve the Global Estimation of Urban Extents." Pp. 14–16 in *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Proceedings of the Urban Remote Sensing Conference*.
- Bardinet, Claude. 2007. "Géomatique et Géocindynique de l'environnement." *La Géographie* (1526):21–39.
- Barles, Sabine. 2007. "A Material Flow Analysis of Paris and Its Region." Pp. 579–584 in *International Conference Renewables in a changing Climate-Innovation in the Built Environment*. Ecole Polytechnique fédérale de Lausanne EPLF.
- Bennett, Elena M., Wolfgang Cramer, Alpina Begossi, Georgina Cundill, Sandra Díaz, Benis N. Egoh, Ilse R. Geijzendorffer, Cornelia B. Krug, Sandra Lavorel, and Elena Lazos. 2015. "Linking Biodiversity, Ecosystem Services, and Human Well-Being: Three Challenges for Designing Research for Sustainability." *Current Opinion in Environmental Sustainability* 14:76–85.
- Bennett, Elena M, Wolfgang Cramer, Alpina Begossi, Georgina Cundill, Sandra Díaz, Benis N. Egoh, Ilse R. Geijzendorffer, Cornelia B. Krug, Sandra Lavorel, Elena Lazos, Louis Lebel, Berta Martín-López, Patrick Meyfroidt, Harold A. Mooney, Jeanne L. Nel, Unai Pascual, Karine Payet, Natalia Pérez Harguindeguy, Garry D. Peterson, Anne-Hélène Prieur-Richard, Belinda Reyers, Peter Roebeling, Ralf Seppelt, Martin Solan, Petra Tschakert, Teja Tschardt, BL Turner, Peter H. Verburg, Ernesto F. Viglizzo, Piran CL White, and Guy Woodward. 2015. "Linking Biodiversity, Ecosystem Services, and Human Well-Being: Three Challenges for Designing Research for Sustainability." *Current Opinion in Environmental Sustainability* 14:76–85. doi: 10.1016/j.cosust.2015.03.007.
- Benyoucef, Brahim. 2010. *Le M'Zab, parcours millénaire*.
- Berezowska-Azzag, E. 2005. "La Notion de Seuils de Croissance Urbaine Comme Enjeu Stratégique Du Projet Urbain." in *Actes du Colloque international Développement urbain durable, gestion des ressources et gouvernance, UNIL Lausanne*.
- Berezowska-Azzag, E. 2013. "Intelligence Urbaine, Au-Delà d'une Planification."
- Berezowska-Azzag, Ewa. 2006. *Alger, Le Territoire Invente Son Avenir*. Urbanistica.

- Berezowska-Azzag, Ewa. 2008a. "Croissance Urbaine Planifiée Aux États Limites: Un Défi Du Développement Durable En Algérie."
- Berezowska-Azzag, Ewa. 2008b. "Croissance Urbaine Planifiée Aux États Limites: Un Défi Du Développement Durable En Algérie."
- Bergeron-Verville, Christine. 2013. "La Capacité de Charge Des Écosystèmes Dans Le Contexte de l'aménagement Du Territoire et Du Développement Durable Au Québec." PhD Thesis, Université de Sherbrooke.
- Bertalanffy, Ludwig von. 1973. *General System Theory: Foundations, Development, Applications*. Penguin.
- Bhoyar, Sankesha P., Suyash Dusad, Rachit Shrivastava, Sidharth Mishra, Nishank Gupta, and Anand B. Rao. 2014. "Understanding the Impact of Lifestyle on Individual Carbon-Footprint." *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 133:47–60. doi: 10.1016/j.sbspro.2014.04.168.
- Biermann, Frank. 2012. "Planetary Boundaries and Earth System Governance: Exploring the Links." *Ecological Economics* 81:4–9.
- Blanckaert, Claude. 2015. "Pour une théorie évolutive humaine. Armand de Quatrefages, la formation des races et le darwinisme au Muséum national d'histoire naturelle." *Revue d'histoire des sciences humaines* (27):189–230. doi: 10.4000/rhsh.2743.
- Borucke, Michael, David Moore, Gemma Cranston, Kyle Gracey, Katsunori Iha, Joy Larson, Elias Lazarus, Juan Carlos Morales, Mathis Wackernagel, and Alessandro Galli. 2013. "Accounting for Demand and Supply of the Biosphere's Regenerative Capacity: The National Footprint Accounts' Underlying Methodology and Framework." *Ecological Indicators* 24:518–33. doi: 10.1016/j.ecolind.2012.08.005.
- Boughedaoui, Ménouër, Rabah Kerbach, Djamel Kessali, and Robert Joumard. 2004. "Mesure de La Pollution Plombifère Dans l'air Ambiant d'Alger." 2268–3798.
- Bouzekri, Sara. 2013. "Projet Urbain Face Aux Changements Climatiques." 90–95.
- Boyden, Stephen Vickers. 1992. *Biohistory: The Interplay Between Human Society and the Biosphere*. UNESCO.
- C40 Cities. 2018. "Consumption-Based GHG Emissions Of C40 Cities."
- Carbone, Valentina, Thomas Zeroual, and Corinne Blanquart. 2010. "Can Sustainable Transport Policies Cause Companies to Adopt Responsible Behaviour? The Case of the Textile and Clothing Industry." *Les Cahiers de Recherche ESCE* (13):221–248.
- Carson, Mary Kay. 2015. *Inside Biosphere 2: Earth Science Under Glass*. Houghton Mifflin Harcourt.
- Chabbi-Chermrouk, Naima. 2014. *Problématique Environnementale Dans Le Contexte Algérien, Perspective Pour de Nouvelles Prospectives*. Al-Djazair. Algérie.

- Chavez, Abel, and Anu Ramaswami. 2013. "Articulating a Trans-Boundary Infrastructure Supply Chain Greenhouse Gas Emission Footprint for Cities: Mathematical Relationships and Policy Relevance." *Energy Policy* 54:376–84. doi: 10.1016/j.enpol.2012.10.037.
- Chen, Guangwu, Thomas Wiedmann, Michalis Hadjikakou, and Hazel Rowley. 2016. "City Carbon Footprint Networks." *Energies* 9(8):602. doi: 10.3390/en9080602.
- Chen, Shaoqing, and Bin Chen. 2015. "Sustainable Urban Metabolism." Pp. 1–8 in *Encyclopedia of Environmental Management*. Taylor & Francis.
- Chen, Shaoqing, Bin Chen, Kuishuang Feng, Zhu Liu, Neil Fromer, Xianchun Tan, Ahmed Alsaedi, Tasawar Hayat, Helga Weisz, Hans Joachim Schellnhuber, and Klaus Hubacek. 2020a. "Physical and Virtual Carbon Metabolism of Global Cities." *Nature Communications* 11(1):182. doi: 10.1038/s41467-019-13757-3.
- Chen, Shaoqing, Bin Chen, Kuishuang Feng, Zhu Liu, Neil Fromer, Xianchun Tan, Ahmed Alsaedi, Tasawar Hayat, Helga Weisz, Hans Joachim Schellnhuber, and Klaus Hubacek. 2020b. "Physical and Virtual Carbon Metabolism of Global Cities." *Nature Communications* 11(1):1–11. doi: 10.1038/s41467-019-13757-3.
- Christiane, Bergeron-Verville. 2013. "Capacité de Charge Des Écosystèmes Dans Le Contexte de l'aménagement Du Territoire et Du Développement Durable Au Québec." SHERBROOKE.
- Coccossis, Harry. 2004. "Sustainable Tourism and Carrying Capacity: A New Context." Pp. 3–14 in *The challenge of tourism carrying capacity assessment: theory and practice*. Ashgate.
- Cohen, Barney. 2006. "Urbanization in Developing Countries: Current Trends, Future Projections, and Key Challenges for Sustainability." *Technology in Society* 28(1–2):63–80. doi: 10.1016/j.techsoc.2005.10.005.
- Cohen, Joel E. 1995. "How Many People Can the Earth Support?" *Bulletin of the American Academy of Arts and Sciences* 51(4):25–39.
- Comité21. 2012. *Rapport : La Ville, Nouvel Écosystème Du 21eme Siècle*. Technology.
- Common, Mick, and Charles Perrings. 1992. "Towards an Ecological Economics of Sustainability." *Ecological Economics* 6(1):7–34.
- Corboz, André. 2000. "Ville Mont-Royal, Cité-Jardin Vitruvienne." *The Journal of the Society for the Study of Architecture in Canada*.
- Costanza, Robert. 2008. "Ecosystem Services: Multiple Classification Systems Are Needed." *Biological Conservation* 141(2):350–352.
- Costanza, Robert, and Herman E. Daly. 1992a. "Natural Capital and Sustainable Development." *Conservation Biology* 6(1):37–46.

- Costanza, Robert, and Herman E. Daly. 1992b. "Natural Capital and Sustainable Development." *Conservation Biology* 6(1):37–46.
- Creutzig, Felix, Giovanni Baiocchi, Robert Bierkandt, Peter-Paul Pichler, and Karen C. Seto. 2015a. "Global Typology of Urban Energy Use and Potentials for an Urbanization Mitigation Wedge." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112(20):6283–88. doi: 10.1073/pnas.1315545112.
- Creutzig, Felix, Giovanni Baiocchi, Robert Bierkandt, Peter-Paul Pichler, and Karen C. Seto. 2015b. "Global Typology of Urban Energy Use and Potentials for an Urbanization Mitigation Wedge." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112(20):6283–88. doi: 10.1073/pnas.1315545112.
- Da Cunha, Antonio. 2003. *Développement Durable et Aménagement Du Territoire*. PPUR presses polytechniques.
- Daily, Gretchen C., and Paul R. Ehrlich. 1992. "Population, Sustainability, and Earth's Carrying Capacity." *BioScience* 42(10):761–771.
- Dakhia, Karima, and Ewa Berezowska-Azzag. 2010. "Urban Institutional and Ecological Footprint: A New Urban Metabolism Assessment Tool for Planning Sustainable Urban Ecosystems." *Management of Environmental Quality: An International Journal* 21(1):78–89. doi: 10.1108/14777831011010874.
- Daly, Herman E. 1990. "Toward Some Operational Principles of Sustainable Development." *Ecological Economics* 2(1):1–6.
- Darwin, Charles. 1859. *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, Or The Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*. J. Murray.
- De Perthuis, Christian, and Pierre-André Jouvét. 2015. *Green Capital: A New Perspective on Growth*. Columbia University Press.
- De Rosnay, Joël. 2014. *Le Macroscopie. Vers Une Vision Globale*. Le seuil.
- Del Monte-Luna, Pablo, Barry W. Brook, Manuel J. Zetina-Rejón, and Victor H. Cruz-Escalona. 2004. "The Carrying Capacity of Ecosystems." *Global Ecology and Biogeography* 13(6):485–495.
- Descartes, René, and Etienne Gilson. 1987. *Discours de la méthode*. Vrin.
- Desthieux, Gilles. 2005. "Approche Systémique et Participative Du Diagnostic Urbain."
- Dhondt, André A. 1988. "Carrying Capacity: A Confusing Concept." *ACTA OECOL.(OECOL. GEN.)*. 9(4):337–346.
- Dobbs, Cynnamon, Francisco J. Escobedo, and Wayne C. Zipperer. 2011. "A Framework for Developing Urban Forest Ecosystem Services and Goods Indicators." *Landscape and Urban Planning* 99(3–4):196–206.

- Ehrlich, Paul R. 1994. "Energy Use and Biodiversity Loss." *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 344(1307):99–104.
- Ehrlich, Paul R. Holdren, John P. Holm, and W. Richard. 1971. *Man and the Ecosphere; Readings from Scientific American*.
- Ehrlich, Paul R., and John P. Holdren. 1971. "Impact of Population Growth."
- El-Islem, Hachaichi Mohamed Nour, and Baouni Tahar. 2019. "The Carbon Footprint Model as a Plea for Cities towards Energy Transition: The Case of Algiers Algeria." *International Journal of Energy and Environmental Engineering* 13(4):255–62. doi: doi.org/10.5281/zenodo.2702586.
- Ellis. 2017. "Nature for the People: Toward a Democratic Vision for the Biosphere."
- Ellis, Erle C. 2017. "Physical Geography in the Anthropocene." *Progress in Physical Geography* 41(5):525–32. doi: 10.1177/0309133317736424.
- EPAU, and GTZ. 1997. *Villes Nouvelles Dans Le Désert (Extension de EL Atteuf Vallée Du M'Zab En Algérie)*.
- Etzkowitz, Henry. 2014. "The Entrepreneurial University Wave: From Ivory Tower to Global Economic Engine." *Industry and Higher Education* 28(4):223–232.
- Evans, Hazel. 1972. *New Towns—the British Experience*. Vol. 853141703. C. Knight for the Town and Country Planning Association.
- Fearnside, Philip Martin. 1986. *Human Carrying Capacity of the Brazilian Rainforest*. Columbia University Press.
- Feng, Kuishuang, Klaus Hubacek, Laixiang Sun, and Zhu Liu. 2014. "Consumption-Based CO2 Accounting of China's Megacities: The Case of Beijing, Tianjin, Shanghai and Chongqing." *Ecological Indicators* 47:26–31. doi: 10.1016/j.ecolind.2014.04.045.
- Fischer-Kowalski, Marina, and Helga Weisz. 1999. "Society as Hybrid between Material and Symbolic Realms: Toward a Theoretical Framework of Society-Nature Interaction." *Advances in Human Ecology* 8:215–252.
- Fox, Tim, Matt Pope, and Erle C. Ellis. 2017. "Engineering the Anthropocene: Scalable Social Networks and Resilience Building in Human Evolutionary Timescales." *The Anthropocene Review* 4(3):199–215. doi: 10.1177/2053019617742415.
- Fry, Jacob, Manfred Lenzen, Yutong Jin, Takako Wakiyama, Timothy Baynes, Thomas Wiedmann, Arunima Malik, Guangwu Chen, Yafei Wang, Arne Geschke, and Heinz Schandl. 2018a. "Assessing Carbon Footprints of Cities under Limited Information." *Journal of Cleaner Production*. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.11.073.
- Fry, Jacob, Manfred Lenzen, Yutong Jin, Takako Wakiyama, Timothy Baynes, Thomas Wiedmann, Arunima Malik, Guangwu Chen, Yafei Wang, Arne Geschke, and Heinz

- Schandl. 2018b. "Assessing Carbon Footprints of Cities under Limited Information." *Journal of Cleaner Production* 176:1254–70. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.11.073.
- Gao, Tao, Qing Liu, and Jianping Wang. 2014. "A Comparative Study of Carbon Footprint and Assessment Standards." *International Journal of Low-Carbon Technologies* 9(3):237–43. doi: 10.1093/ijlct/ctt041.
- Gauzin-Müller, Dominique. 2001. *L'architecture Écologique*. Le Moniteur.
- Georgescu-Roegen, Nicholas. 1975. "Energy and Economic Myths." *Southern Economic Journal* 347–381.
- Georgescu-Roegen, Nicholas. 1993. "The Entropy Law and the Economic Problem." *Valuing the Earth: Economics, Ecology, Ethics* 75–88.
- Georgescu-Roegen, Nicholas. 2018. "Energy Analysis and Economic Valuation." Pp. 75–110 in *Green Accounting*. Routledge.
- Gérard, Piroton. 2005. "Introduction à La Systémique."
- GIEC. 2015a. *Changements climatiques 2014: l'atténuation du changement climatique : résumé à l'intention des décideurs : résumé technique : contribution du groupe de travail III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*. Genève (Suisse): GIEC.
- GIEC. 2015b. *Changements climatiques 2014: l'atténuation du changement climatique : résumé à l'intention des décideurs : résumé technique : contribution du groupe de travail III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*. Genève (Suisse): GIEC.
- Godelier, Maurice. 2011. *The Mental and the Material*. Verso Books.
- Graymore, M. 2005. "Journey to Sustainability: Sustainable Carrying Capacity and Sustainability Assessment Methods." *Fac. of Environ. Sci., Griffith Univ., Brisbane, Australia*.
- Griggs, David, Mark Stafford-Smith, Owen Gaffney, Johan Rockström, Marcus C. Öhman, Priya Shyamsundar, Will Steffen, Gisbert Glaser, Norichika Kanie, and Ian Noble. 2013. "Policy: Sustainable Development Goals for People and Planet." *Nature* 495(7441):305.
- Gupta, Mitali Das. 2014. "Carbon Footprint from Road Transport Use in Kolkata City." *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 32:397–410. doi: 10.1016/j.trd.2014.08.004.
- Hachaichi, Mohamed, and Tahar Baouni. 2020. "Downscaling the Planetary Boundaries (Pbs) Framework to City Scale-Level: De-Risking MENA Region's Environment Future." *Environmental and Sustainability Indicators* 5:100023. doi: 10.1016/j.indic.2020.100023.

- Hall, Peter. 2014. *Cities of Tomorrow: An Intellectual History of Urban Planning and Design since 1880*. John Wiley & Sons.
- Hall, Peter Geoffrey, and Colin Ward. 1998. *Sociable Cities: The Legacy of Ebenezer Howard*. J. Wiley Chichester.
- Hardin, Garrett. 1968. "The Tragedy of the Commons." *Science* 162(3859):1243–48. doi: 10.1126/science.162.3859.1243.
- Heinonen, Jukka, Juudit Ottelin, Sanna Ala-Mantila, Thomas Wiedmann, Jack Clarke, and Seppo Junnila. 2020. "Spatial Consumption-Based Carbon Footprint Assessments - A Review of Recent Developments in the Field." *Journal of Cleaner Production* 256:120335. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.120335.
- Hertwich, Edgar G., and Glen P. Peters. 2009. "Carbon Footprint of Nations: A Global, Trade-Linked Analysis." *Environmental Science & Technology* 43(16):6414–20. doi: 10.1021/es803496a.
- Hilborn, Ray, Carl J. Walters, and Donald Ludwig. 1995. "Sustainable Exploitation of Renewable Resources." *Annual Review of Ecology and Systematics* 26(1):45–67.
- Hocine, Mohamed. 2011. "L'approche par les seuils dans la pré-modélisation d'un outil de monitoring du développement territorial local." P. 10 in.
- Hocine, Mohamed. 2013. "Alger : Étalement urbain et Défis D'une Planification Innovante à l'horizon 2029." *Majallat al-Hikmah lil-Dirāsāt al-Bī'iyah wa-al-Jughrāfīyah* 244(1436):1–40. doi: 10.12816/0006625.
- Hoegh - Guldberg, O., D. Jacob, M. Taylor, M. Bindi, S. Brown, I. Camilloni, A. Diedhiou, R. Djalante, K. Ebi, F. Engelbrecht, K. Guiot, Y. Hijikata, S. Mehrotra, A. Payne, S. Seneviratne, A. Thomas, R. Warren, G. Zhou, S. Halim, M. Achlatis, L. Alexander, M. Allen, P. Berry, C. Boyer, L. Brilli, M. Buckeridge, W. Cheung, M. Craig, N. Ellis, J. Evans, H. Fisher, K. Fraedrich, S. Fuss, A. Ganase, J. Gattuso, P. Greve, T. Guillen, N. Hanasaki, T. Hasegawa, K. Hayes, A. Hirsch, C. Jones, T. Jung, M. Kanninen, G. Krinner, D. Lawrence, T. Lenton, D. Ley, D. Liveman, N. Mahowald, K. McInnes, K. Meissner, R. Millar, K. Mintenbeck, D. Mitchell, A. Mix, D. Notz, L. Nurse, A. Okem, L. Olsson, M. Oppenheimer, S. Paz, J. Peterson, J. Petzold, S. Preuschmann, M. Rahman, J. Rogelj, H. Scheuffele, C. F. Schleussner, D. Scott, R. Seferian, J. Sillmann, C. Singh, R. Slade, K. Stephenson, T. Stephenson, M. Sylla, M. Tebboth, P. Tschakert, R. Vautard, R. Wartenburger, M. Wehner, N. Weyer, F. Whyte, G. Yohe, X. Zhang, and R. Zougmore. 2018. "Chapter 3: Impacts of 1.5°C Global Warming on Natural and Human Systems." in *Global Warming of 1.5 °C an IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Hu, Yuanchao, Jianyi Lin, Shenghui Cui, and Nina Zheng Khanna. 2016. "Measuring Urban Carbon Footprint from Carbon Flows in the Global Supply Chain." *Environmental Science & Technology* 50(12):6154–63. doi: 10.1021/acs.est.6b00985.

- Ibrahim, Nadine, Lorraine Sugar, Dan Hoornweg, and Christopher Kennedy. 2012. "Greenhouse Gas Emissions from Cities: Comparison of International Inventory Frameworks." *Local Environment* 17(2):223–41. doi: 10.1080/13549839.2012.660909.
- Izoland. 2004. "Approche Systemique." Retrieved March 4, 2020 (http://nathalie.diaz.pagesperso-orange.fr/html/approche_systemique.htm).
- Jean-Marie, Huriot, and Bailly Antione. 2017. *Villes et Croissance. Théories, Modèles, Perspectives*.
- Jeffery, Clarence Ray. 1977. *Crime Prevention Through Environmental Design*. SAGE Publications.
- Jian, Zhou. 2005. "Villes et Campagnes Dans l'histoire Chinoise Contemporaine." *Urbanisme* (341):66–67.
- Kalmykova, Yuliya, Leonardo Rosado, and João Patrício. 2015. "Urban Economies Resource Productivity and Decoupling: Metabolism Trends of 1996–2011 in Sweden, Stockholm, and Gothenburg." *Environmental Science & Technology* 49(14):8815–8823.
- Kamel, Mostefa-Kara. 2008. *la menace climatique en Algérie et en Afrique, les inéluctables solutions*. DAHLAB.
- Kates, Robert W., Thomas M. Parris, and Anthony A. Leiserowitz. 2005. "What Is Sustainable Development? Goals, Indicators, Values, and Practice." *Environment(Washington DC)* 47(3):8–21.
- Kennedy, Christopher A., Iain Stewart, Angelo Facchini, Igor Cersosimo, Renata Mele, Bin Chen, Mariko Uda, Arun Kansal, Anthony Chiu, Kwi-gon Kim, Carolina Dubeux, Emilio Lebre La Rovere, Bruno Cunha, Stephanie Pincetl, James Keirstead, Sabine Barles, Semerdanta Pusaka, Juniati Gunawan, Michael Adegbile, Mehrdad Nazariha, Shamsul Hoque, Peter J. Marcotullio, Florencia González Otharán, Tarek Genena, Nadine Ibrahim, Rizwan Farooqui, Gemma Cervantes, and Ahmet Duran Sahin. 2015. "Energy and Material Flows of Megacities." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112(19):5985–90. doi: 10.1073/pnas.1504315112.
- Kennedy, Christopher, Stéphanie Demoullin, and Eugene Mohareb. 2012. "Cities Reducing Their Greenhouse Gas Emissions." *Energy Policy* 49:774–77. doi: 10.1016/j.enpol.2012.07.030.
- Khatiwala, S., F. Primeau, and T. Hall. 2009. "Reconstruction of the History of Anthropogenic CO₂ Concentrations in the Ocean." *Nature* 462(7271):346–49. doi: 10.1038/nature08526.
- Kitzes, Justin. 2013. "An Introduction to Environmentally-Extended Input-Output Analysis." *Resources* 2(4):489–503. doi: 10.3390/resources2040489.
- Krier, Léon. 1996. *Architecture: Choix Ou Fatalité*. EDITIONS NORMA.

- Kusel, Jonathan. 1996. "Well-Being in Forest Dependent Communities, Part I: A New Approach." Pp. 361–373 in *Sierra Nevada ecosystem project: final report to Congress*. Vol. 2.
- Kuznets, Simon. 1955. "Economic Growth and Income Inequality." *The American Economic Review* 45(1):1–28.
- Lamb, William F., Felix Creutzig, Max W. Callaghan, and Jan C. Minx. 2019. "Learning about Urban Climate Solutions from Case Studies." *Nature Climate Change* 9(4):279–87. doi: 10.1038/s41558-019-0440-x.
- Lane, Murray. 2010. "The Carrying Capacity Imperative: Assessing Regional Carrying Capacity Methodologies for Sustainable Land-Use Planning." *Land Use Policy* 27(4):1038–45. doi: 10.1016/j.landusepol.2010.01.006.
- Le Moigne, Jean-Louis. 1994. *La Théorie Du Système Général: Théorie de La Modélisation*. jeanlouis le moigne-ae mcx.
- Lee Jr, Douglass B. 1973. "Requiem for Large-Scale Models." *Journal of the American Institute of Planners* 39(3):163–178.
- Lenzen, Manfred. 2000. "Errors in Conventional and Input-Output—Based Life—Cycle Inventories." *Journal of Industrial Ecology* 4(4):127–48. doi: 10.1162/10881980052541981.
- Lenzen, Manfred, Joy Murray, Fabian Sack, and Thomas Wiedmann. 2007. "Shared Producer and Consumer Responsibility—Theory and Practice." *Ecological Economics* 61(1):27–42.
- Lenzen, Manfred, Mette Wier, Claude Cohen, Hitoshi Hayami, Shonali Pachauri, and Roberto Schaeffer. 2006. "A Comparative Multivariate Analysis of Household Energy Requirements in Australia, Brazil, Denmark, India and Japan." *Energy* 31(2–3):181–207.
- Leopold, Aldo. 1987. *Game Management*. Univ of Wisconsin Press.
- Lewis, Simon L., and Mark A. Maslin. 2015. "Defining the Anthropocene." *Nature* 519(7542):171.
- Lin, David, Laurel Hanscom, Adeline Murthy, Alessandro Galli, Mikel Evans, Evan Neill, Maria Mancini, Jon Martindill, Fatime-Zahra Medouar, and Shiyu Huang. 2018. "Ecological Footprint Accounting for Countries: Updates and Results of the National Footprint Accounts, 2012–2018." *Resources* 7(3):58.
- Lin, Jianyi, Yuanchao Hu, Shenghui Cui, Jiefeng Kang, and Anu Ramaswami. 2015. "Tracking Urban Carbon Footprints from Production and Consumption Perspectives." *Environmental Research Letters* 10(5):054001. doi: 10.1088/1748-9326/10/5/054001.

- Loh, Jonathan, Mathis Wackernagel, World Wide Fund for Nature, WWF (Organization), UNEP World Conservation Monitoring Centre, and Global Footprint Network. 2004. *Living Planet Report: 2004*. Gland, Switz.: WWF-World Wide Fund for Nature.
- Lombardi, Mariarosaria, Elisabetta Laiola, Caterina Tricase, and Roberto Rana. 2017a. "Assessing the Urban Carbon Footprint: An Overview." *Environmental Impact Assessment Review* 66:43–52. doi: 10.1016/j.eiar.2017.06.005.
- Lombardi, Mariarosaria, Elisabetta Laiola, Caterina Tricase, and Roberto Rana. 2017b. "Assessing the Urban Carbon Footprint: An Overview." *Environmental Impact Assessment Review* 66:43–52. doi: 10.1016/j.eiar.2017.06.005.
- Louman, Bastiaan, Andreas Fischlin, Peter Glück, John Innes, Alan Lucier, John Parrotta, Heru Santoso, Ian Thompson, and Anita Wreford. 2009. "Forest Ecosystem Services: A Cornerstone for Human Well-Being." *IUFRO World Series* 22:15–27.
- Machet, Laurence. 2010. "Port Sunlight, Essai Architectural et Social." *Cahiers Victoriens et Édouardiens* (71 Printemps):495–506.
- Mackenzie, Fred T., A. Lerman, and B. Ver LM. 1980. "Global Carbon Cycle." *Carbon Dioxide Effects Research and Assessment Program* 360.
- Malthus, Thomas Robert. 1959. *Population: The First Essay*. University of Michigan Press.
- Mancini, Maria Serena, Alessandro Galli, Valentina Niccolucci, David Lin, Simone Bastianoni, Mathis Wackernagel, and Nadia Marchettini. 2016a. "Ecological Footprint: Refining the Carbon Footprint Calculation." *Ecological Indicators* 61:390–403. doi: 10.1016/j.ecolind.2015.09.040.
- Mancini, Maria Serena, Alessandro Galli, Valentina Niccolucci, David Lin, Simone Bastianoni, Mathis Wackernagel, and Nadia Marchettini. 2016b. "Ecological Footprint: Refining the Carbon Footprint Calculation." *Ecological Indicators* 61:390–403. doi: 10.1016/j.ecolind.2015.09.040.
- Manel, Amoura. 2014. "Amélioration Des Performances Locales Par La Démarche Du Projet Urbain. Bab Ezzouar, Lieu de Vie."
- Marmignon, Patricia. 2007. "Seki Hajime (1873-1935) Contre Une Tradition Nippone Urbaphobe." *Ville Mal Aimée, Ville à Aimer* 16.
- Maslin, Mark. 2004. *Global Warming: A Very Short Introduction*. Oxford ; New York: Oxford University Press.
- Matouk, Belattaf. 2010. "Evolution, Formes et Impacts de l'activité Touristique : Pour Un Tourisme Durable." P. 14 in. Biskra-Algérie.
- Maugard, Alain, and Jean-Pierre Cuisinier. 2010. *Regard sur la ville durable - A. Maugard, J. Cuisinier - Librairie Eyrolles*.

- Max-Neef, Manfred. 1995. "Economic Growth and Quality of Life: A Threshold Hypothesis." *Ecological Economics* 15(2):115–118.
- McRae, Louise, Robin Freeman, and Valentina Marconi. 2016. *Living Planet Report 2016: Risk and Resilience in a New Era*.
- McRae, Louise, Robin Freeman, Valentina Marconi, and Canadian Electronic Library (Firm). 2016. *Living Planet Report 2016: Risk and Resilience in a New Era*.
- Metz, Bert, Ogunlade Davidson, Heleen De Coninck, Manuela Loos, and Leo Meyer. 2005. *IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva (Switzerland). Working
- Millennium Ecosystem Assessment, M. E. A. 2005. *Ecosystems and Human Well-Being*. Island Press Washington, DC.
- Miller, Ronald E., and Peter D. Blair. 2009. *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*. Cambridge university press.
- Millward-Hopkins, Joel, Andrew Gouldson, Kate Scott, John Barrett, and Andrew Sudmant. 2017. "Uncovering Blind Spots in Urban Carbon Management: The Role of Consumption-Based Carbon Accounting in Bristol, UK." *Regional Environmental Change* 17(5):1467–78. doi: 10.1007/s10113-017-1112-x.
- Ministère de l'énergie. 2016. "Chiffres Clés_du Bilan Energétique Année 2015."
- Ministère de l'Energie. 2016. *Energies Nouvelles, Renouvelables et Maitrise de l'Energie*. Algiers - Algeria.
- Ministère de l'énergie. 2017. "Bilan Energetique National 2016 Edition 2017.Pdf."
- Minx, Jan, Giovanni Baiocchi, Thomas Wiedmann, John Barrett, Felix Creutzig, Kuishuang Feng, Michael Förster, Peter-Paul Pichler, Helga Weisz, and Klaus Hubacek. 2013a. "Carbon Footprints of Cities and Other Human Settlements in the UK." *Environmental Research Letters* 8(3):035039.
- Minx, Jan, Giovanni Baiocchi, Thomas Wiedmann, John Barrett, Felix Creutzig, Kuishuang Feng, Michael Förster, Peter-Paul Pichler, Helga Weisz, and Klaus Hubacek. 2013b. "Carbon Footprints of Cities and Other Human Settlements in the UK." *Environmental Research Letters* 8(3):035039. doi: 10.1088/1748-9326/8/3/035039.
- Miossec, Alain. 2001. "L'évolution de La Géographie Des Océans et Des Littoraux Face Aux Perspectives Du Développement Durable Au XXI e Siècle. Quelles Hypothèses Envisager?/The Geography of Coasts and Seas Facing Sustainable Development: What Could Be the Future?" Pp. 509–526 in *Annales de géographie*. JSTOR.
- Moran, Daniel, Keiichiro Kanemoto, Magnus Jiborn, Richard Wood, Johannes Többen, and Karen C. Seto. 2018a. "Carbon Footprints of 13 000 Cities." *Environmental Research Letters* 13(6):064041. doi: 10.1088/1748-9326/aac72a.

- Moran, Daniel, Keiichiro Kanemoto, Magnus Jiborn, Richard Wood, Johannes Többen, and Karen C. Seto. 2018b. "Carbon Footprints of 13 000 Cities." *Environmental Research Letters* 13(6):064041. doi: 10.1088/1748-9326/aac72a.
- Moran, Daniel, and Richard Wood. 2014. "Convergence between the Eora, WIOD, EXIOBASE, and OpenEU's Consumption-Based Carbon Accounts." *Economic Systems Research* 26(3):245–261.
- Munasinghe, Mohan. 1995. "Making Economic Growth More Sustainable." *Ecological Economics* 15(2):121–124.
- Nacer, Abdelaziz. 2015. "A Strategic Tool."
- Naimi Ait-Aoudia, Meriem. 2016. "Modeling a System of Indicators for the Assessment of Water Resources Carrying Capacity of Algiers Department." Theses, Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme, Alger.
- Newman, Peter, Timothy Beatley, and Heather Boyer. 2009. *Resilient Cities: Responding to Peak Oil and Climate Change*. Island Press.
- Newman, Peter, and Jeffrey Kenworthy. 1999a. *Sustainability and Cities: Overcoming Automobile Dependence*. Island Press.
- Newman, Peter, and Jeffrey Kenworthy. 1999b. *Sustainability and Cities: Overcoming Automobile Dependence*. Island Press.
- Niccolucci, V., E. Tiezzi, F. M. Pulselli, and C. Capineri. 2012. "Biocapacity vs Ecological Footprint of World Regions: A Geopolitical Interpretation." *Ecological Indicators* 16:23–30.
- Odum, Eugene Pleasants. 1959. *Fundamentals of Ecology*. Saunders.
- Office National des Statistiques. 2016. *L'Algérie En Quelques Chiffres*. Algiers - Algeria.
- Oh, Kyushik, Yeunwoo Jeong, Dongkun Lee, Wangkey Lee, and Jaeyong Choi. 2005. "Determining Development Density Using the Urban Carrying Capacity Assessment System." *Landscape and Urban Planning* 73(1):1–15. doi: 10.1016/j.landurbplan.2004.06.002.
- de Oña, Rocío, Jose Luis Machado, Tahar Baouni, and Juan de Oña. 2016. "Understanding Transit Users in Algiers: Key Quality Factors at the Railway Services." Pp. 483–490 in *XII Congreso de ingeniería del transporte. 7, 8 y 9 de Junio, Valencia (España)*. Editorial Universitat Politècnica de València.
- ONS. 2017a. "Indice de Production Industrielle."
- ONS. 2017b. "Les Répertoires Des Agents Économiques et Sociaux."
- Passet, René. 1979. *L'économie et Le Vivant*. Vol. 23. Payot.
- Pavard, Claude. 1975. *Algérie: lumière du m'zab*. Boulogne- billancourt: delroisse.

- Pennequin, Gilles, Antoine-Tristan Mocilnikar, Nathalie Kosciusko-Morizet, and Yann Arthus-Bertrand. 2011. *L'atlas Du Développement Durable et Responsable*. Editions Eyrolles.
- Pertsova, Carolyn C. 2007. *Ecological Economics Research Trends*. Nova Publishers.
- Peters, Glen P., and Edgar G. Hertwich. 2008. *CO2 Embodied in International Trade with Implications for Global Climate Policy*. ACS Publications.
- Pichler, Peter-Paul, Timm Zwickel, Abel Chavez, Tino Kretschmer, Jessica Seddon, and Helga Weisz. 2017a. "Reducing Urban Greenhouse Gas Footprints." *Scientific Reports* 7(1):14659. doi: 10.1038/s41598-017-15303-x.
- Pichler, Peter-Paul, Timm Zwickel, Abel Chavez, Tino Kretschmer, Jessica Seddon, and Helga Weisz. 2017b. "Reducing Urban Greenhouse Gas Footprints." *Scientific Reports* 7(1):1–11. doi: 10.1038/s41598-017-15303-x.
- Pincetl, Stephanie. 2017. "Cities in the Age of the Anthropocene: Climate Change Agents and the Potential for Mitigation." *Anthropocene* 20:74–82. doi: 10.1016/j.ancene.2017.08.001.
- Ploegaerts, Léon. 2001. "Un Projet Inconnu de Jacques Gréber: La Cité-Jardin de Villeray Du Domaine Saint-Sulpice à Montréal." *Urban History Review/Revue d'histoire Urbaine* 29(2):36–42.
- Prigogine, I., and R. Lefever. 1973. "Theory of Dissipative Structures." Pp. 124–35 in *Synergetics: Cooperative Phenomena in Multi-Component Systems*, edited by H. Haken. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.
- Ravéreau, André. 2003. *Le M'Zab, une leçon d'architecture*. Sindbad.
- Redmore, L., A. Stronza, A. Songhurst, and G. McCulloch. 2018. "Which Way Forward? Past and New Perspectives on Community-Based Conservation in the Anthropocene." Pp. 453–60 in *Encyclopedia of the Anthropocene*, edited by D. A. Dellasala and M. I. Goldstein. Oxford: Elsevier.
- Rico, Anna, Julia Martínez-Blanco, Marc Montlleó, Gustavo Rodríguez, Nuno Tavares, Albert Arias, and Jordi Oliver-Solà. 2019. "Carbon Footprint of Tourism in Barcelona." *Tourism Management* 70:491–504. doi: 10.1016/j.tourman.2018.09.012.
- Ridley, Matt. 1999. *Genome: The Autobiography of a Species in 23 Chapters*. HarperCollins Publishers.
- Rockström, Johan, Will Steffen, Kevin Noone, Åsa Persson, F. Stuart Chapin III, Eric Lambin, Timothy M. Lenton, Marten Scheffer, Carl Folke, and Hans Joachim Schellnhuber. 2009. "Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity." *Ecology and Society* 14(2).
- Safar-Zitoun, Madani. 2012. "État Providence et politique du logement en Algérie." *Revue Tiers Monde* n°210(2):89–106.

- Sarukhan, J. (ed.), A. (ed.), Whyte, R. (ed.), Hassan, R. (ed.), Scholes, N. (ed.), Ash, S. T. (ed.), Carpenter, P. L. (ed.), Pingali, E. M. (ed.), Bennett, M. B. (ed.), Zurek, K. (ed.), Chopra, R. (ed.), Leemans, P. (ed.), Kimar, H. (ed.), Simons, D. (ed.), Capistrano, C. K. (ed.), Samper, M. J. (ed.), Lee, and C. (ed.). Raudsepp-Hearne. 2005. *Millenium Ecosystem Assessment: Ecosystems and Human Well-Being*. Island Press.
- Schläpfer, Markus, Luís MA Bettencourt, Sébastien Grauwin, Mathias Raschke, Rob Claxton, Zbigniew Smoreda, Geoffrey B. West, and Carlo Ratti. 2014. "The Scaling of Human Interactions with City Size." *Journal of the Royal Society Interface* 11(98):20130789.
- Schuur, Edward A. G., James Bockheim, Josep G. Canadell, Eugenie Euskirchen, Christopher B. Field, Sergey V. Goryachkin, Stefan Hagemann, Peter Kuhry, Peter M. Lafleur, Hanna Lee, Galina Mazhitova, Frederick E. Nelson, Annette Rinke, Vladimir E. Romanovsky, Nikolay Shiklomanov, Charles Tarnocai, Sergey Venevsky, Jason G. Vogel, and Sergei A. Zimov. 2008. "Vulnerability of Permafrost Carbon to Climate Change: Implications for the Global Carbon Cycle." *BioScience* 58(8):701–14. doi: 10.1641/B580807.
- Sidi Boumedine, Rachid. 2013. *L'urbanisme en Algérie: échec des instruments ou instruments de l'échec?* Alternatives urbaines.
- Sieferle, Rolf Peter. 1997. *Rückblick auf die Natur: eine Geschichte des Menschen und seiner Umwelt*. Luchterhand.
- Smil, Vaclav. 2003. *The Earth's Biosphere: Evolution, Dynamics, and Change*. MIT Press.
- Sovacool, Benjamin K., and Marilyn A. Brown. 2010. "Twelve Metropolitan Carbon Footprints: A Preliminary Comparative Global Assessment." *Energy Policy* 38(9):4856–69. doi: 10.1016/j.enpol.2009.10.001.
- Steffen, W. L., ed. 2004. *Global Change and the Earth System: A Planet under Pressure*. Berlin ; New York: Springer.
- Steffen, W., K. Richardson, J. Rockstrom, S. E. Cornell, I. Fetzer, E. M. Bennett, R. Biggs, S. R. Carpenter, W. de Vries, C. A. de Wit, C. Folke, D. Gerten, J. Heinke, G. M. Mace, L. M. Persson, V. Ramanathan, B. Reyers, and S. Sorlin. 2015. "Planetary Boundaries: Guiding Human Development on a Changing Planet." *Science* 347(6223):1259855–1259855. doi: 10.1126/science.1259855.
- Sverige, Naturvårdsverket, and Kemikalieinspektionen. 2010. *Swedish Consumption and the Global Environment*. Stockholm: Naturvårdsverket.
- Świąder, Małgorzata, Szymon Szewrański, Jan Kazak, Joost van Hoof, David Lin, Mathis Wackernagel, Armando Alves, Małgorzata Świąder, Szymon Szewrański, Jan K. Kazak, Joost van Hoof, David Lin, Mathis Wackernagel, and Armando Alves. 2018. "Application of Ecological Footprint Accounting as a Part of an Integrated Assessment of Environmental Carrying Capacity: A Case Study of the Footprint of Food of a Large City." *Resources* 7(3):52. doi: 10.3390/resources7030052.

- Terrin, Jean-Jacques. 2014. *Le projet du projet: concevoir la ville contemporaine*. Parenthèses.
- Tomas, François. 1997. "Produire de La Ville En Périphérie Urbaine: Le Cas Du SICOVAL/Creating a Town in the Urban Periphery: The Case of SICOVAL." *Revue de Géographie de Lyon* 72(2):143–151.
- Trestini, Marc. 2016. "Théorie Des Systèmes Complexes Appliquée à La Modélisation d'environnements Numériques d'apprentissage de Nouvelle Génération." PhD Thesis.
- Turchany, Guy. 2008. "La nécessaire approche par la pensée-hypercomplexe." 53.
- Wackermann, Gabriel. 2007. *La mondialisation: approche géographique*. Ellipses.
- Wackermann, Gabriel. 2008. *Le développement durable*. Ellipses.
- Wackernagel, Mathis, and Bert Beyers. 2019. *Ecological Footprint: Managing Our Biocapacity Budget*. New Society Publishers.
- Wackernagel, Mathis, and William Rees. 1998a. *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*. New Society Publishers.
- Wackernagel, Mathis, and William Rees. 1998b. *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*. Vol. 9. New Society Publishers.
- Webster, Chris, Georg Glasze, and Klaus Frantz. 2002. *The Global Spread of Gated Communities*. SAGE Publications Sage UK: London, England.
- Wegener, Michael. 1994. "Operational Urban Models State of the Art." *Journal of the American Planning Association* 60(1):17–29. doi: 10.1080/01944369408975547.
- Weidema, Bo P., Mikkel Thrane, Per Christensen, Jannick Schmidt, and Søren Løkke. 2008. "Carbon Footprint: A Catalyst for Life Cycle Assessment?" *Journal of Industrial Ecology* 12(1):3–6. doi: 10.1111/j.1530-9290.2008.00005.x.
- Weinzettel, Jan, Edgar G. Hertwich, Glen P. Peters, Kjartan Steen-Olsen, and Alessandro Galli. 2013. "Affluence Drives the Global Displacement of Land Use." *Global Environmental Change* 23(2):433–438.
- Weizsaecker, Ernst von, and Anders Wijkman. 2018. *Come On! : Capitalism, Short-Termism, Population and the Destruction of the Planet*. New York: Springer-Verlag.
- Wiedmann, Thomas O., Guangwu Chen, and John Barrett. 2016. "The Concept of City Carbon Maps: A Case Study of Melbourne, Australia: The Concept of City Carbon Maps." *Journal of Industrial Ecology* 20(4):676–91. doi: 10.1111/jiec.12346.
- Wiener, Norbert. 1965. *Cybernetics Or Control and Communication in the Animal and the Machine*. MIT Press.
- World Bank. 2019. "World Bank Open Data | Data." Retrieved December 31, 2019 (<https://data.worldbank.org/>).

- World Economic Forum. 2019. "10 Cities Are Predicted to Gain Megacity Status by 2030 | World Economic Forum." Retrieved March 11, 2019 (<https://www.weforum.org/agenda/2019/02/10-cities-are-predicted-to-gain-megacity-status-by-2030/>).
- Wu, L., Q. Jiang, and X. M. Yang. 2012. "Carbon Footprint Incorporation into Least-Cost Planning of Eco-City Schemes: Practices in Coastal China." *Procedia Environmental Sciences* 13:582–89. doi: 10.1016/j.proenv.2012.01.049.
- Wusten, Herman van der. 2016. "La ville fonctionnelle et les modèles urbains qui lui ont succédé. Exemples d'une pratique politique en train de se globaliser." *EchoGéo* (36). doi: 10.4000/echogeo.14634.
- WWF. 2016. *Risques et Résiliences Dans l'anthropocène. Scientifc*. WWF.
- Zalasiewicz, Jan, Colin N. Waters, Mark Williams, Anthony D. Barnosky, Alejandro Cearreta, Paul Crutzen, Erle Ellis, Michael A. Ellis, Ian J. Fairchild, and Jacques Grinevald. 2015. "When Did the Anthropocene Begin? A Mid-Twentieth Century Boundary Level Is Stratigraphically Optimal." *Quaternary International* 383:196–203.
- Zitoun, Madani SAFAR, and Amina Tabti-Talamali. 2009. "La Mobilité Urbaine Dans l'agglomération d'Alger : Evolutions et Perspectives."

Liste des figures

Figure 1 : Les événements extrêmes sont devenus de plus en plus fréquents.	2
Figure 2 : Indice de vulnérabilité aux changements climatiques.	5
Figure 3 : L'escalade des émissions de carbone des pays à revenu intermédiaire après le protocole de Kyoto.	7
Figure 4 : Relation entre PIB par personne et le taux de croissance démographique.	10
Figure 5 : Schéma heuristique des problèmes d'Alger.	12
Figure 6 : Actifs écologiques d'Alger (Périmètre d'étude).	16
Figure 7 : Méthodologie adoptée pour évaluer la capacité de charge de carbone d'Alger.	19
Figure 8 : Les émissions territoriales et la capacité de charge carbone d'Alger.	22
Figure 9 : Structure de thèse.	26
Figure 10 : Conseil d'orientation sur le développement durable de <i>“Notre Avenir pour Tous”</i> .	31
Figure 11 : Les dérives idéologistes des partisans de l'approche écocentrée et anthropocentrée.	34
Figure 12 : Cartographie de l'impact des objectifs de développement durable des Nations Unies sur la recherche mondiale.	35
Figure 13 : Interrelations entre la Nature et la Société.	40
Figure 14 : Interaction Homme – Nature.	40
Figure 15 : L'interaction entre les sphères de causalité culturelle et naturelle.	41
Figure 16 : Mécanisme de l'effet de serre.	54
Figure 17 : l'effet des émissions anthropiques de carbone sur l'évolution de la température mondiale.	61
Figure 18 : Trajectoires climatiques nécessaires à l'horizon de 2100.	68
Figure 19 : Scopes des inventaires de GES.	70
Figure 20 : Les différents termes de capacité de charge environnementale et leurs interactions à l'échelle urbaine.	79
Figure 21 : Capacité de charge démographique.	87
Figure 22 : Planification de la Cité jardin.	93
Figure 23 : La topographie de la vallée du M'zab.	95
Figure 24 : Le trio de force d'initiative de neutralité carbone de Paris (France).	98
Figure 25 : Les quatre mythes de la nature et les quatre mythes de la nature humaine .	101
	209

Figure 26 : Le cycle biogéochimique du carbone dans la biosphère.	105
Figure 27 : Taux de croissance démographique par pays.	109
Figure 28 : Méthodologies adoptées par les chercheurs pour évaluer la capacité de charge de l'environnement.	112
Figure 29 : Carte des actifs écologiques d'Alger.	114
Figure 30 : Méthodologie adoptée pour évaluer la capacité de charge de carbone d'Alger.	116
Figure 31 : Capacité de charge carbone de la Wilaya d'Alger.	119
Figure 32 : Les émissions de carbone d'Alger.	121
Figure 33 : Evaluation de la capacité de charge carbone d'Alger.	122
Figure 34 : Comparaison conceptuelle entre la comptabilité territoriale des émissions de GES (a) et l'empreinte des GES (b).	127
Figure 35 : Régression à trois niveaux de seuil sur les villes.	131
Figure 36 : Schéma explicatif des tableaux MRIO fournis par Eora.	133
Figure 37 : Consommation énergétique, richesse par personne et émissions de carbone dans la région du Grand-Maghreb.	144
Figure 38 : Méthodologie adoptée pour évaluer les émissions indirectes.	146
Figure 39 : Émissions de carbone dans la région du Grand-Maghreb en fonction du secteur de consommation.	148
Figure 40 : Dépenses en fonction des secteurs économiques prodigués par Eora.	150
Figure 41 : Émissions carboniques indirectes par chaque zone urbaine et chaque secteur économique.	152
Figure 42 : Evaluation des émissions de carbone pour les trois grandes villes du Grand Maghreb.	153
Figure 43 : Eléments de la modélisation systémique.	171
Figure 44 : Métabolisme urbain linéaire et circulaire.	178
Figure 45 : Les différentes formes urbaines.	179
Figure 46 : Les biens et les services écologiques.	184
Figure 47 : Services écosystémiques.	186
Figure 48 : Bilan des émissions de gaz à effet de serre en Algérie.	194
Figure 49 : Structure hiérarchique des outils et instruments d'application des principes de la durabilité à différentes échelles en Algérie.	198
Figure 50: Représentation graphique de l'outil de monitoring-controlling du modèle urbain algérois vers la soutenabilité environnementale et la résilience climatique.	204
	210

Figure 51 : PIB par personne in PPP.	254
Figure 52 : Tableau simplifié d'entre-sortie.	255

Liste des tableaux

Tableau 1: Les GES couverts par le protocole de Kyoto.	55
Tableau 2: Stratégie de mitigation des gaz carboniques en Algérie.	59
Tableau 3: Définitions de la capacité de charge.	78
Tableau 4: Définitions de la notion de seuils.	88
Tableau 5: Classification des seuils de croissance selon la nature et l'échelle d'appréciation.	89
Tableau 6: Information de base pour calculer les puits de carbone forestiers par le processus de la photosynthèse.	117
Tableau 7: Informations de base pour calculer les puits de carbone du sol des terres cultivées.	117
Tableau 8: Information de base pour calculer les puits de carbone du sol forestier.	117
Tableau 9: Informations de base pour calculer les puits de carbone du sol des prairies.	118
Tableau 10: Informations de base pour calculer l'absorption de carbone par les zones humides (océans).	118
Tableau 11: Emissions de carbone dues à la combustion de combustibles fossiles dans la Wilaya d'Alger.	120
Tableau 12: Emissions de carbone dues à la consommation d'électricité dans la Wilaya d'Alger.	120
Tableau 13: Bilan carbone d'Alger (t CO ₂).	120
Tableau 14 : Classification des secteurs par Eora.	134
Tableau 15: Évaluation de l'empreinte carbone à l'échelle des villes.	137
Tableau 16: Les caractéristiques urbaines de la zone d'étude.	144
Tableau 17: Bilan carbone par habitant des aires métropolitaines du Grand-Maghreb.	154
Tableau 18: Principes de la théorie du système.	161
Tableau 19: Quelques définitions du mot système.	165
Tableau 20: Émissions/Absorption totales des GES à effet direct.	194
Tableau 21: Synthèse des émissions de gaz à effet de serre.	194

Liste des équations

Équation 1	17
Équation 2	19
Équation 3	19
Équation 4	20
Équation 5	20
Équation 6	20
Équation 7	21
Équation 8	80
Équation 9	81
Équation 10	83
Équation 11	99
Équation 12	115
Équation 13	129
Équation 14	147
Équation 15	147

Liste des abréviations et acronymes

ACV	Analyse de cycle de vie
ADEME	Agence de l'Environnement et de Maîtrise de l'Energie
AIE	Agence international d'énergie
APRUE	Agence National pour la Promotion et la Rationalisation de l'utilisation de l'énergie
BM	Banque mondiale
C	Carbone
C ³	Capacité de charge carbone
CAT-MED	Platform for sustainable urban models in Mediterranean context
CC	Changement climatique
CCD	Capacité de charge démographique
CCE	Capacité de charge environnementale
CCT	Capacité de charge touristique
CES	Coefficient d'emprise aux sols
CPDN	Contribution Prévue Déterminée au Niveau National
CNERU	Centre National d'Etudes et de Recherche appliquée en Urbanisme
CSC	Captage et Stockage du carbone
COP	Conférence of parties
COS	Coefficient d'occupation des sols
DD	Développement durable
DDT	Dichloro-diphényl-trichloréthane
DFCV	Direction des forêts et de la ceinture verte d'Alger
EC	Empreinte carbone
éqC, éqCO ₂	Equivalent carbone, équivalent dioxyde de carbone

FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe international pour l'évolution du climat
RNB	Revenu National Brut
GTZ	Agence allemande de coopération internationale
IPAT	Capacité de charge appliquée à la population
JORA	Journal Officiel de la République Algérienne
kWh	Kilo watt par heure (unité de mesure de l'électricité)
MDP	Mécanisme de développement propre
ME	Ministère de l'environnement
ME	Ministère de l'énergie
MENA	Moyen orient et Afrique du Nord
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MRIO	Multi-Regional Input-Output
MRV	Monitoring, reporting et vérification
MS	Métabolisme social
OCDE	Organisation de coopération et de développement économique
OMT	Organisation mondiale du tourisme
ONG	Organisation non-gouvernementale
ONU	Organisation des Nations Unies
PED	Pays en voie de développement
PDAU	Plan directeur d'aménagement et d'urbanisme
PIB	Produit intérieur brut
PNUD	Programme des Nations-Unies pour le développement
PNUE	Plan des nations-unies pour l'environnement

POG	Plan d'orientation général
POS	Plan d'occupation des sols
PRI	Pays à Revenu Intermédiaire
PUD	Plan d'urbanisme directeur
CCNUCC	Convention Cadre des Nation Unies sur le Changement Climatique
SBSTA	Organe subsidiaire chargé de fournir des avis scientifiques et technologiques
SDAAM	Schéma directeur d'aménagement de l'aire métropolitaine d'Alger
SIG	Système d'information géographique
SNAT	Schéma national d'aménagement national
Tep	Tonne équivalent carbone
TGV	Train à grand vitesse
UICN	Union International pour la Conservation de la Nature
WBCSD	World Business Council for Sustainable development
WEB	La toile d'araignée mondiale, internet
WRI	Institut National des ressources
WWF	Fond National de la Faune sauvage

Annexes

Annexe A.01

Introduction aux calculs de la capacité de charge de carbone des différents réservoirs (naturels et anthropique) promue par Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) en 2006

The following Supplementary Information (SI) provides a detailed method for calculating City Carbon Carrying Capacity of Algiers as discussed in IPCC guidelines for for national greenhouse gas inventories:

In the present study, the carbon carrying capacity is calculated as (Eq 1):

$$C^4 = \sum (C_{Photosynthesis} + C_{Soil} + C_{Ocean} + C_{technology}), \quad (1)$$

Where:

C_{ph} : the carbon fraction sequestered in biomass (forest land) through photosynthesis, this fraction is calculated as mentioned in (Eq 2):

$$\Delta C_B = (\Delta C_G + \Delta C_L), \quad (2)$$

Where:

ΔC_B : annual change in carbon stocks in biomass (the sum of above-ground and below-ground biomass) for each land sub-category considering the total area, tone C yr⁻¹

ΔC_G : annual increase in carbon stocks due to biomass growth for each land sub-category, considering the total area, tones C yr⁻¹, it's calculated like:

$$\Delta C_G = \sum_{ij} (A_{ij} * G_{TOTALjj} * CF_{ij}), \quad (3)$$

Where:

A_{ij} : area of land remaining the same land-use category, ha

$G_{TOTALj,j}$: mean annual biomass growth, tones d. m. ha⁻¹ yr⁻¹, is calculated as in (Eq 4):

$$G_{TOTAL} = \sum \{G_W * (1 + R)\}, \quad (4)$$

where:

G_W : average annual above-ground biomass growth for a specific woody vegetation type, tones d.m (Table A2).

R : ratio of below-ground biomass to above-ground biomass for a specific vegetation type, in tone d.m below-ground biomass (tone d.m. above-ground biomass)⁻¹. R must be set to zero if assuming no changes of below-ground biomass allocation patterns (Tier 1) (Table A3).

I : ecological zone ($i=1$ to n)

J : climate domain ($j=1$ to m)

$CF_{i,j}$: carbon fraction of dry matter, tone C (tone d.m)⁻¹ (Table A1).

ΔC_L : annual decrease in carbon stocks due to biomass loss for each land sub-category, considering the total area, tones C yr⁻¹, this fraction is calculated as:

$$\Delta C_L = L_{wood-removals} + L_{fuelwood+L_{disturbance}}, \quad (5)$$

$L_{wood-removals}$: annual carbon loss due to wood removals, tonnes C yr⁻¹, is calculated as in (Eq 6):

$$L_{wood-removals} = \{H * BCEF_R * (1 + R) * CF\}, \quad (6)$$

H : annual wood removals, round wood, m³ yr⁻¹

R : ratio of below-ground biomass to above-ground biomass, in tone d.m, below-ground biomass (tone d.m above-ground biomass)⁻¹. R must be set to zero if assuming in changes of below-ground biomass allocation patterns (Tier 1).

CF : carbon fraction of dry matter, tone C (tone d.m)⁻¹

$BCEF_R$: biomass conversion and expansion factor for conversion of removals in merchantable volume to total biomass removal (including bark), tones biomass removal (m³ of removals),

(see table 4.5 for forest land). However, if $BCEF_R$ values are not available and if the biomass expansion factor for wood removals) and basic wood density (D) values are separately estimated, the following conversion can be used:

$$BCEF_R = BEF_R * D, \quad (7)$$

If country-specified data on round wood removals are not available, the inventory experts should use FAO statistics on wood harvest. FAO statistical data on wood harvest exclude bark. To convert FAO statistical wood harvest data without bark into merchantable wood removals including bark, multiply by default expansion factor of 1.15 (Table A3).

$L_{fuelwood}$: annual biomass carbon loss due to fuelwood removals, tonnes C yr⁻¹, is calculated as:

$$L_{fuelwood} = \left[\left\{ FG_{trees} * BCEF_R * (1 + R) \right\} + FG_{part} * D \right] * CF, \quad (8)$$

FG_{trees} : annual carbon loss due to fuelwood removals, tones C yr⁻¹

FG_{part} : annual volume of fuelwood removal of whole trees, m³ yr⁻¹

R : ratio of below-ground biomass to above-ground biomass in tone d.m. below-ground volume to biomass removals (including bark), tones biomass removal (m³ of removals)⁻¹, R must be set to zero if assuming no changes of below-ground biomass allocation patterns (Tier 1).

CF : carbon fraction of dry matter, tone C (tone d.m.)⁻¹

D : basic wood density, tones d.m. m⁻³

$BCEF_R$: biomass conversion and expansion factor for conversion of removals in merchantable volume to biomass removals (including bark), tones biomass removal (m³ of removals)⁻¹, (see Table 4.5 for forest land) if $BCEF_R$ values are not available and if the biomass expansion factor for wood removals (BEF_R) and basic wood density (D) values are separately estimated, the the following conversion can be used:

$$BCEF_R = BEF_R * D, \quad (9)$$

Notice, Biomass Expansions Factor) expand merchantable wood removals to total aboveground biomass volume to account for non-merchantable components of the tree, stand and forest.) is dimensionless.

$L_{disturbance}$: annual biomass carbon losses due to disturbances, tones C yr⁻¹, is calculated as:

$$L_{disturbance} = \{A_{disturbance} * B_W * (1 + R)\} * CF * fd, \quad (10)$$

$L_{disturbance}$: annual other losses of carbon, tonne C yr⁻¹ (note that this the amount of biomass that is lost from the total biomass. The partitioning of biomass that is transferred to dead organic matter and biomass that is oxidized and released to the atmosphere is explained in Equation 2.15 and 2.16

$A_{disturbance}$: area affected by disturbances, ha yr⁻¹

B_W : average above-ground biomass of land areas affected by disturbances, tones d.m ha⁻¹

R : ration of below-ground biomass to above-ground biomass, in tonne d.m. below-ground biomass (tonne d.m. above-ground biomass)⁻¹. R must be set to zero if no changes of below-ground biomass are assumed (Tier 1)

CF : carbon fraction of dry matter, tone C (tones d.m)⁻¹

fd : fraction of biomass lost in disturbance, for more information see v4 ch2 equation 2.14 pp. 18

C_s : the carbon fraction stocked in sol (grassland and cropland) through soil-respiration, this fraction is calculated as mentioned in (Eq02):

$$\Delta C_{Soils} = \Delta C_{Mineral} - L_{Organic} + \Delta C_{Inorganic}, \quad (11)$$

Where:

ΔC_{Soils} : annual change in carbon stocks in soils, tones C yr⁻¹

$\Delta C_{Mineral}$: annual change on organic carbon stocks in mineral soils, tones C yr⁻¹, this fraction calculated as:

$$\Delta C_{Mineral} = \frac{(SOC_0 - SOC_{(0-T)})}{D}, \quad (12)$$

And

$$SOC = \sum_{c,s,i} (SOC_{REF} * F_{LU} * F_{MG} * F_I * A_{c,s,i}), \quad (13)$$

Where:

SOC_0 : soil organic carbon stock in the last year of an inventory time period, tones C

$SOC_{(0-T)}$: soil organic carbon stock at the beginning of the inventory time period, tones C

SOC_0 and $SOC_{(0-T)}$ are calculated using the SOC equation in the box where the reference carbon stocks and stocks change factors are assigned according to the land-use and management activities and corresponding areas at each of the points in time (time = 0 and time = 0-T)

T: number of years over a single inventory time period, yr

D: time dependence of socks change factors which is the default period for transition between equilibrium SOC values, yr. commonly 20 years, but depends on assumption made in computing the factors $F_{LU} * F_{MG} * F_I$. If exceeds D, use the value T to obtain an annual rate of change over the inventory time period (0-T years)

C: represents the climate zone, s the soil type, and I the set of management system that are present in a country

SOC_{REF} : the reference carbon stock, tones C ha⁻¹ (Table A4)

F_{LU} : stock change factor for land-use systems our sub-system for a particular land-use, dimensionless (Table A5, A8) for cropland and grassland respectively.

F_{MG} : stock change factor for management regime, dimensionless (Table A5, A7, A8) for cropland, forest land and grassland respectively.

F_I : stock change factor for input of organic matter, dimensionless (Table A5, A7, A8) for cropland, forest land and grassland respectively.

$A_{c,s,i}$: land area of the stratum being estimated, ha. All land in the stratum should have common biophysical conditions (i.e., climate and soil type) and management history over the inventory time period to be treated together for analytical purposes.

$L_{Organic}$: annual loss of carbon from drained organic soils, tones C yr⁻¹

$$L_{Organic} = \sum_c (A * EF)_c, \quad (14)$$

Where:

A: land area of drained organic soils in climate type c, ha

EF: emission factor for climate type c, tone C ha⁻¹ yr⁻¹ (Table A6, A7, A9) for cropland, forest land and grassland respectively.

$\Delta C_{Inorganic}$: annual change in inorganic carbon stocks from soils, tones C yr⁻¹ (assumed to be 0 unless using a Tier 3 approach)

C_o : the carbon fraction stocked in ocean (wetlands), this fraction is calculated as equal to 28% of the overall-territorial emissions according to [56], notice that this fraction is used in the Ecological Footprint Assessment, which has been recently refined by [52].

C_{tec} : the carbon fraction stocked using technology (i.e., CSC) this fraction is calculated as in (Eq 15):

$$Efficiency_{CO2capturetechnology} = \frac{C_{capturedCO2}}{C_{fuel} - C_{Products}}, \quad (15)$$

$Efficiency_{CO2capturetechnology}$: efficiency of the CO₂ capture system (in percentage)

$C_{capturedCO2}$: amount of carbon in the captured CO₂ stream (kg)

C_{fuel} : amount of carbon in fossil fuels or biomass input to the plant (kg)

$C_{Products}$: amount of carbon in the carbonaceous or combustible chemicals of the plant (kg).

Appendix B:

Table B.1

Carbon fraction of aboveground forest biomass (CF).

Domaine	Part of tree	Carbon fraction, (CF)	Reference
---------	--------------	-----------------------	-----------

		[tonne C (tonne d.m) ⁻¹]	
Default value	All	0.47	IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories Vol. 04. Ch. 04 pp.48
Tropical and subtropical	All	0.47 (0.44 – 0.49)	
	Wood	0.49	
	Wood, tree d < 10 cm	0.46	
	Wood, tree d ≥ 10 cm	0.49	
	Foliage	0.47	
	Foliage, tree d < 10 cm	0.43	
	Foliage, tree d ≥ 10 cm	0.46	
Temperate and Boreal	All	0.47 (0.47 – 0.49)	
	Broad-leaved	0.48 (0.46 – 0.50)	
	Conifers	0.51 (0.47 – 0.55)	

Table B.2

Above-ground biomass in forests (Gw).

Domaine	Ecological zone	Continent	Above-ground biomass	Reference
---------	-----------------	-----------	----------------------	-----------

			(tonne d.m. ha ⁻¹)	
Tropical	Tropical rain forest	Africa	310 (130-510)	IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. 2006. Vol. 04. Ch. 04. Pp 53
		North and South America	300 (120-400)	
		Asia (continental)	280 (120-680)	
		Asia (insular)	350 (280-520)	
	Tropical moist deciduous forest	Africa	260 (160-430)	
		North and South America	220 (210-280)	
		Asia (continental)	180 (10-560)	
		Asia (insular)	290	
	Tropical dry forest	Africa	120 (120-130)	
		North and South America	210 (200-410)	
		Asia (continental)	130 (100-160)	
		Asia (insular)	160	
	Tropical shrubland	Africa	70 (20-200)	

		North and South America	80 (40-90)	
		Asia (continental)	60	
		Asia (insular)	70	
	Tropical mountain systems	Africa	40-190	
		North and South America	60-230	
		Asia (continental)	50-220	
		Asia (insular)	50-360	
	Subtropical humid forest	North and South America	220 (210-280)	
		Asia (continental)	180 (10-560)	
		Asia (insular)	290	
Subtropical	Subtropical dry forest	Africa	140	
		North and South America	210 (200-410)	
		Asia (continental)	130 (100-160)	
		Asia (insular)	160	
	Subtropical steppe	Africa	70 (20-200)	

		North and South America	80 (40-90)	
		Asia (continental)	60	
		Asia (insular)	50	
	Subtropical mountain systems	Africa	50	
		North and South America	60-230	
		Asia (continental)	50-220	
		Asia (insular)	50-360	

Table B.3

Above-ground biomass in forests.

Domaine	Ecological zone	Above-ground biomass	R [tonne root d.m. (tonne shoot d.m) ⁻¹]	Reference
Tropical	Tropical rain forest		0.37	<u>IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. 2006. Vol. 04. Ch.04 pp.49</u>
	Tropical moist deciduous forest	Above-ground biomass >125 tonnes ha ⁻¹	0.20 (0.09-0.25)	
		Above-ground biomass	0.24 (0.22-0.33)	

		<125 tonnes ha ⁻¹		
	Tropical dry forest	Above-gro und biomass <20 tonnes ha ⁻¹	0.56 (0.28-0.68)	
		Above-gro und biomass >20 tonnes ha ⁻¹	0.28 (0.27-0.28)	
	Tropical shrubland		0.40	
	Tropical mountain systems		0.27 (0.27-0.28)	
Subtropical	Subtropica l humid forest	Above-gro und biomass <125 tonnes ha ⁻¹	0.20 (0.09-0.25)	
		Above-gro und biomass >125 tonnes ha ⁻¹	0.24 (0.22-0.33)	
	Subtropica l dry forest	Above-gro und biomass <20 tonnes ha ⁻¹	0.56 (0.28-0.68)	
		Above-gro und biomass >20 tonnes ha ⁻¹	0.28 (0.27-0.28)	
	Subtropica l steppe		0.32 (0.26-0.71)	

	Subtropical mountain systems		No estimate available	
Temperate	Temperate oceanic forest, Temperate continental forest, Temperate mountain systems	Conifers above-ground biomass <50 tonnes ha ⁻¹	0.40 (0.21-1.06)	
		Conifers above-ground biomass 50-150 tonnes ha ⁻¹	0.29 (0.24-0.50)	
		Conifers above-ground biomass >150 tonnes ha ⁻¹	0.20 (0.12-0.49)	
		Quercus spp. Above-ground biomass >70 tonnes ha ⁻¹	0.30 (0.20-1.16)	
		Eucalyptus spp. Above-ground biomass <50 tonnes ha ⁻¹	0.44 (0.29-0.81)	
		Eucalyptus spp. Above-ground 50-150 tonnes ha ⁻¹	0.28 (0.15-0.81)	
		Eucalyptus spp. Above-ground	0.20 (0.10-0.33)	

		biomass >150 tonnes ha ⁻¹		
		Other broadleaf above-ground biomass <75 tonnes ha ⁻¹	0.46 (0.12-0.93)	
		Other broadleaf above-ground biomass 75-150 tonnes ha ⁻¹	0.23 (0.17-0.44)	
		Other broadleaf above-ground biomass >150 tonnes ha ⁻¹	0.24 (0.17-0.44)	
Boreal	Boreal coniferous forest, Boreal tundra woodland, Boreal mountain systems	Above-ground biomass <75 tonnes ha ⁻¹	0.39 (0.23-0.96)	
		Above-ground biomass >75 tonnes ha ⁻¹	0.24 (0.15-0.37)	

Table B.4

default biomass conversion and expansion factors (BCEF) tonnes biomass (m³ of wood volume)⁻¹.

Climate zone	Forest type	BCEF	Growing stock level (m ³)	Reference
--------------	-------------	------	---------------------------------------	-----------

Mediterranean dry tropical, subtropical			<20	21-40	41-80	>80	IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. 2006. Vol. 04. Ch. 04 pp51
	Hardwoods	BCEF _s	5.0 (2.0 -8.0)	1.9 (1.0 -2.6)	0.8 (0.6 -1.4)	0.66 (0.4 -0.9)	
		BCEF _i	1.5	0.5	0.55	0.66	
		BCEF _R	5.55	2.11	0.89	0.73	
	Conifers	BCEF _s	6.0 (3.0 -8.0)	1.2 (0.5 -2.0)	0.6 (0.4 -0.9)	0.55 (0.4 -0.7)	
		BCEF _i	1.5	0.4	0.45	0.54	
		BCEF _R	6.67	1.33	0.67	0.61	

Table B.5

The reference carbon stock, tonnes C ha⁻¹ (SOC_{REF}) for grassland.

Climate region	HAC soils	LAC soils	Sandy soils	Spodic soils	Volcanic soils	Wetland soils
Boreal	68	NA	10	117	10	146
Cold temperate, dry	50	33	34	NA	20	87
Cold temperate, moist	95	85	71	115	130	

Warm temperate, dry	38	24	19	NA	70	88
Warm temperate, moist	88	63	34	NA	80	
Tropical, dry	38	35	31	NA	50	86
Tropical, moist	65	47	39	NA	70	
Tropical, wet	44	60	66	NA	130	
Tropical montane	88	63	34	NA	80	

¹ Reference: IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. 2006. Vol. 04, Ch. 02, pp. 31.

Table B.6

Relative stock change factors (F_{LU} , F_{MG} and F_I) for different management activities on cropland.

Factor value type	Level	Temperature regime	Moisture regime	IPCC defaults	Error
Land use (FLU)	Long term cultivated	Temperate/Boreal	Dry	0.80	±9%
			Moist	0.69	±12%
		Tropical	Dry	0.58	±61%
			Moist/wet	0.48	±46%

		Tropical montane	n/a	0.64	±50%
Tillage (FMG)	Reduced	Temperate/boreal	dry	1.02	±6%
			Moist	1.08	±5%
		Tropical	Dry	1.09	±9%
			Moist/wet	1.15	±8%
		Tropical montane	n/a	1.09	±50%
Input (FI)	Medium	All	Dry and moist/wet	1.00	NA

¹ Reference: IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. 2016. Vol. 04, Ch. 05, pp. 17.

Table B.7

Annual emissions factors (EF) for cultivated organic soils for cropland.

Climatic regime	temperature	IPCC default (tonnes C ha ⁻¹ yr ⁻¹)	Error
Boreal/Cool Temperate		5.0	±90%
Warm temperate		10.0	±90%
Tropical/Sub-Tropical		20.0	±90%

¹ Reference: IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. 2016. Vol. 04, Ch. 05, pp. 18.

Table B.8

Emissions factors for drained organic soils in managed forests for forest land.

Climate	Emissions factors (tonnes C ha ⁻¹ yr ⁻¹)	
	Values	Rangers
Tropical	1.36	0.82-3.82
Temperate	0.68	0.41-1.91
Boreal	0.16	0.08-1.09

¹ Reference: IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. 2016. Vol. 04, Ch. 04, pp. 52.

Table B.9

Relative stock change factors (F_{LU} , F_{MG} and F_I) for different management activities for grassland.

Factor	Level	Climate regime	IPCC default	Error
Land use (FLU)	All	All	1.0	NA
Management (FMG)	Nominally managed (non-degraded)	All	1.0	NA
Management (FMG)	Moderately degraded grassland	Temperate/Boreal	0.95	±13%
		Tropical	0.97	±11%
		Tropical montane	0.96	±11%
Management (FMG)	Severely degraded	All	0.7	±40%
Management (FMG)	Improved grassland	Temperate/Boreal	1.14	±11%

		Tropical	1.17	±9%
		Tropical Montane	1.16	±40%
Input (applied only to improved grassland) (FI)	Medium	All	1.0	NA
Input (applied only to improved grassland) (FI)	High	All	1.11	±70%

¹ Reference: IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. 2016. Vol. 04, Ch. 06, pp. 16.

Table B.10

Annual emission factors (EF) for drained grassland organic soils for grassland.

Climate regime	temperature	IPCC default (tonne C ha ⁻¹ yr ⁻¹)	Error
Boreal/Cold Temperate		0.25	±90%
Warm Temperate		2.5	±90%
Tropical/Sub-Tropical		5.0	±90%

¹ Reference: IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. 2016. Vol. 04, Ch. 06, pp. 17.

Annexe A.02

Introduction à Eora, une base de données comprehensive pour les application environnementales de l'économie mondiale

Tout d'abord nous commençons par la définition des différents concepts clés relatifs à l'analyse des tableaux de sorties-entrées d'une ville, pays ou une région donnée.

National accounts

Les comptes nationaux sont un système de comptes et de bilans qui fournit un cadre large et intégré pour décrire une économie, qu'il s'agisse d'une région, d'un pays ou d'un groupe de pays comme l'Union européenne (UE). Pour que les comptes nationaux soient comparables au niveau international, ce système doit reposer sur des concepts, des définitions, des classifications et des règles comptables communes, afin de parvenir à une description quantitative cohérente, fiable et comparable d'une économie. Les comptes nationaux fournissent des données économiques systématiques et détaillées utiles pour l'analyse économique afin de soutenir le développement et le suivi de l'élaboration des politiques.

General features of national accounts

Les comptes nationaux enregistrent les activités économiques de manière systématique, en distinguant les acteurs appartenant aux secteurs institutionnels tels que les ménages, les entreprises et le gouvernement. Le système décrit les diverses transactions ou autres

changements d'actifs (flux) au cours d'une période donnée ainsi que le niveau (normalement à la fin d'une période) des stocks.

L'accent mis sur le suivi des politiques budgétaires dans l'UE se traduit par le développement des statistiques de finances publiques. La récente crise financière et économique a également souligné l'importance des comptes financiers, qui présentent les transactions financières, les autres variations des actifs ou passifs financiers, et les bilans financiers.

En outre, les comptes nationaux servent de base à un système statistique plus large. C'est le cas des statistiques sociales et économiques en général, et des comptes satellites en particulier.

Le système européen de comptes nationaux et régionaux, connu sous l'abréviation SEC, est entièrement conforme aux directives mondiales sur la comptabilité nationale, à savoir le système de comptabilité nationale (SCN) : le SCN est publié conjointement par les Nations unies, la Commission des Communautés européennes, le Fonds monétaire international (FMI), l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) et la Banque mondiale.

Le SEC n'est pas limité à la comptabilité nationale annuelle, mais s'applique également aux comptes trimestriels et aux comptes régionaux. Le SEC se compose de deux séries principales de tableaux, à savoir le cadre des entrées-sorties/comptes par branche d'activité et les comptes par secteur. Le SEC comprend également des concepts de population et d'emploi qui sont pertinents à la fois pour les comptes sectoriels et le cadre des entrées-sorties.

Les comptes nationaux sont établis séparément par chaque État membre de l'UE, plus précisément par l'office statistique national ou une autre institution désignée par le gouvernement, par exemple, la banque centrale nationale. Les comptes sont le résultat d'un processus d'intégration de données provenant de nombreuses sources, par exemple, des enquêtes statistiques sur les entreprises et les ménages et des données administratives. Les comptes nationaux européens sont établis par Eurostat en combinant les comptes nationaux des États membres. À cette fin, les pays sont tenus de fournir à Eurostat un ensemble de données prédéfinies selon un calendrier de transmission fixe.

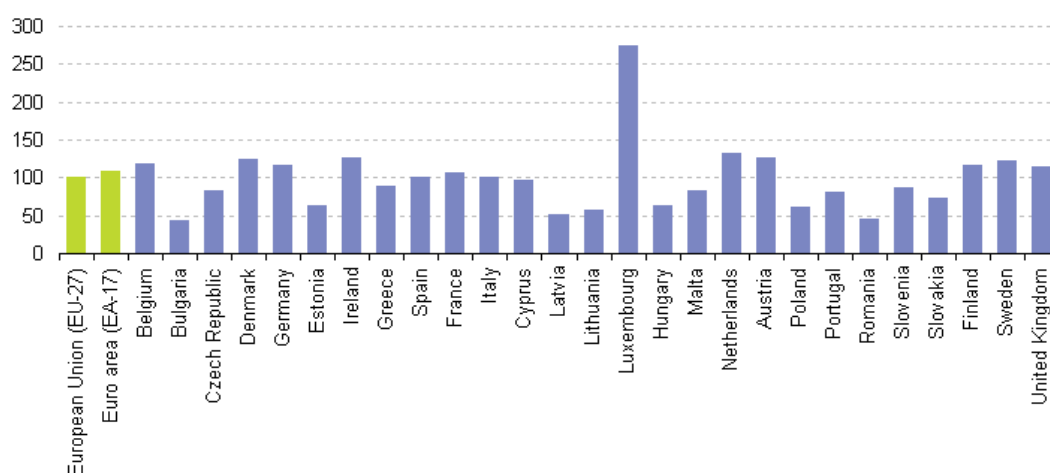
Annual accounts

Les données annuelles constituent le noyau du système de comptabilité nationale, tant en ce qui concerne leur niveau de détail que leur utilisation pour l'estimation des données

trimestrielles (voir la section suivante). Les données du domaine des comptes nationaux comprennent des informations sur le produit intérieur brut (PIB) et ses composantes, les agrégats de la consommation finale, les revenus, l'épargne et l'emploi. Des ventilations existent pour certaines variables par activité économique (telle que définie par la nomenclature d'activités NACE), produits d'investissement, objet de consommation finale et secteurs institutionnels.

La figure 43, donne un exemple de l'une des analyses les plus courantes des données de la comptabilité nationale. L'analyse du PIB entre les pays est facilitée par l'étude du PIB par habitant, ce qui élimine l'influence de la taille absolue de la population. Le PIB par habitant est souvent considéré comme un indicateur économique général des niveaux de vie, bien que ce ne soit pas l'objectif principal d'un tel indicateur. Un indice du PIB par habitant par rapport à la moyenne de l'UE (fixé à 100) peut être calculé : si l'indice d'un pays est supérieur/inférieur à 100, le niveau du PIB par habitant de ce pays est supérieur/inférieur à la moyenne de l'UE-27. De telles comparaisons de l'activité économique des pays devraient idéalement être faites en utilisant une série qui reflète le pouvoir d'achat de chaque monnaie, plutôt qu'en utilisant les taux de change du marché, et par conséquent cet indicateur est généralement exprimé en standards de pouvoir d'achat (SPA).

Figure 51 : PIB par personne in PPP.



Source : Eurostat, 2010.

Supply, use and input-output tables

Le cadre de l'offre et de l'utilisation est la partie du système de comptabilité nationale qui se concentre sur la production et l'utilisation des biens et des services dans une économie. Il reflète les activités des industries dans lesquelles des produits intermédiaires et des intrants primaires (tels que le travail et le capital) sont nécessaires. Les tableaux des ressources et des

emplois montrent où et comment les biens et services sont produits et vers quelle utilisation intermédiaire ou finale ils sont acheminés.

Figure 52 : Tableau simplifié d'entre-sortie.

	Industries: 1, 2, ..., n	Final uses				Total
		Final consump- tion	Gross fixed capital formation	Change in inventories	Exports	
Products 1 2 : : n	Matrix of the intermediate consumption of each product by each industry	Final consumption of each product	Gross fixed capital formation of each product	Change in inventories of each product	Exports of each product	Total use (intermediate consumption + final uses) of each product
Value added — compensation of employees — consumption of fixed capital — net operating surplus	Matrix of the value added components by each industry					Total value added of each product
Total	Total output by each industry: intermediate consumption + value added	Total final uses by category				Total use

Source : Eurostat, 2009.

Le cadre des entrées-sorties comprend trois types de tableaux : les tableaux des ressources et des emplois, les tableaux symétriques des entrées-sorties et les tableaux reliant les tableaux des ressources et des emplois aux comptes des secteurs ; ceux-ci font partie intégrante du SEC. Les problèmes d'élaboration et les solutions harmonisées sont présentés dans le manuel d'Eurostat sur les tableaux des ressources et des emplois et les tableaux d'entrées-sorties.

Ces tableaux décrivent le processus de production (tel que la structure des coûts et la production de revenus) par branche d'activité ou activité et l'utilisation des biens et services (production, importations, exportations, consommation finale, consommation intermédiaire et formation de capital par groupe de produits). Dans le système de comptabilité nationale, les tableaux des ressources, des emplois et des entrées-sorties offrent le portrait le plus détaillé des activités de production et d'utilisation d'une économie et fournissent également un cadre cohérent pour équilibrer les comptes nationaux.

Ces tableaux montrent entre autres :

- la structure des coûts de production et la valeur ajoutée, qui est générée dans le processus de production ;
- les interdépendances des industries ;
- les flux de biens et de services produits et utilisés dans l'économie nationale ;
- les échanges internationaux de biens et de services avec le reste du monde.
- Les tableaux d'offre indiquent comment les produits sont mis à disposition dans une économie : il peut s'agir de la production de toute une série d'industries nationales ou d'importations.

De la même manière, l'utilisation de la même liste de produits peut être analysée en différenciant l'utilisation pour la consommation intermédiaire des industries nationales ou les utilisations finales telles que la consommation finale, la formation de capital fixe ou les exportations. Les tableaux d'utilisation indiquent également les composantes de la valeur ajoutée (telles que la rémunération des salariés ou la consommation de capital fixe) par branche d'activité.

Le cadre doit répondre à deux identités. La production de chaque branche d'activité est égale à la somme de la consommation intermédiaire et de la valeur ajoutée. Pour chaque produit, l'offre totale (production plus importations) est égale à la somme de la consommation intermédiaire, de la consommation finale, de la formation brute de capital et des exportations.

Un tableau entrées-sorties symétrique est une matrice produit-sous-produit (ou industrie par industrie) : il réorganise à la fois l'offre et l'utilisation dans un seul tableau avec une seule classification identique du produit (ou de l'industrie) appliquée à la fois pour les lignes et les colonnes.

Satellite accounts

Pour certaines utilisations, les concepts de l'ASE sont insuffisants et peuvent devoir être complétés. L'une des façons de le faire de manière cohérente est de développer des comptes satellites. Les comptes satellites peuvent montrer plus de détails si nécessaire, ou ils peuvent élargir le champ d'application du système comptable en ajoutant des informations non monétaires, ou ils peuvent modifier certains concepts de base - par exemple, en élargissant le concept de formation du capital. En général, les comptes satellites suivent les concepts et les

classifications de base du système de comptabilité nationale, ne s'en écartant que lorsque l'objectif spécifique du compte satellite nécessite une modification.

Les comptes satellites peuvent inclure des stocks et des flux qui ne sont pas facilement observables en termes monétaires (ou sans contrepartie monétaire claire) car ils ne sont pas bien servis par le système central de comptabilité nationale. Il s'agit par exemple de la mesure de l'utilisation du temps de production au sein des ménages, ou des informations sur le nombre d'élèves ou le temps passé dans l'éducation, ou encore de la santé des arbres en tant qu'indicateur de la pollution. Les comptes satellites offrent une possibilité de relier ces statistiques en unités non monétaires aux comptes nationaux en utilisant les classifications employées dans le cadre standard pour ces statistiques non monétaires.

Ce lien peut ensuite faciliter l'analyse des interactions entre les informations des comptes nationaux standard et les informations des comptes satellites. Les comptes environnementaux, qui constituent un outil d'analyse des liens entre l'environnement et l'économie, sont un exemple de compte satellite qui a connu un développement considérable au sein des Nations unies et de l'UE. Ils peuvent être utilisés, par exemple, pour analyser dans quelle mesure nos modes de production et de consommation actuels dégradent les ressources naturelles, ou pour mesurer les effets environnementaux des mesures de politique économique.

Un autre exemple de comptes satellites est le compte satellite du tourisme pour lequel un nouveau cadre méthodologique commun a été publié en 2008 par les Nations unies, Eurostat, l'OCDE et l'Organisation mondiale du tourisme (OMT). L'utilisation des comptes satellites est de plus en plus répandue, et ces comptes sont davantage mis en avant dans le SCN 08/ SEC 2010 révisé et sont plus activement encouragés en tant que présentations alternatives.

Annexe A.03

Introduction aux calculs des empreintes environnementales en utilisant les tableaux d'Entrées/Sorties et l'inverse de Wassily Leontief

Cette étude utilise l'analyse EE-IO qui se base principalement sur deux types de données, (i) le tableau des entrées-sorties qui contient des informations sur les échanges de biens et de services entre différents secteurs et différents pays sur une période d'un an en utilisant des unités physiques (Kg) ou monétaires (USD), dans cette étude la version complète de EE-MRIO (v199.82) a été utilisée et (ii) les enquêtes externes sur les dépenses de consommation (CES) qui fournissent essentiellement des informations détaillées sur les dépenses des ménages sur une période d'un an. Dans cette étude, les sept empreintes urbaines (impacts environnementaux liés aux activités de consommation urbaine) ont été calculées à l'aide du vecteur de la demande finale des villes (yA) (qui représente les dépenses par habitant pour la résolution de 26 secteurs). Il convient de noter que cette recherche n'évalue que les empreintes de la consommation finale des ménages privés, car les autres catégories de la matrice de la demande finale (telles que la consommation finale du gouvernement et la formation brute de capital fixe) ne disposaient pas de données fiables. Afin de calculer les empreintes des villes, nous avons suivi deux phases :

Phase 1 : Préparation du vecteur de demande finale des villes : Cette phase commence par la collecte d'enquêtes sur les dépenses de consommation auprès des offices statistiques de chaque pays, suivie d'un processus de cartographie et d'agrégation des objets de dépenses (secteurs et valeurs) avec les secteurs correspondants d'Eora (voir SI pour la classification sectorielle d'Eora). Ensuite, ces dépenses des consommateurs urbains pour chaque ville (un vecteur de 26 lignes par ville) ont été converties de l'unité monétaire locale (LCU) en unité globale (USD) en utilisant les taux de change de la Banque mondiale (Banque 2019a), cette phase donne un vecteur d'unité monétaire (en USD) avec 26 lignes par ville appelé (yA) qui représente la consommation et les dépenses totales des citoyens urbains en biens et services pour une année donnée.

Phase 2 : Calcul des intensités directes (en prix d'achat) pour l'indicateur du carbone (CO₂): Tout d'abord, nous avons calculé les vecteurs d'intensité totale (F) de chaque indicateur Pbs en prix de base pour chaque pays dans une année donnée en utilisant les techniques standard d'entrées-sorties, ce processus donne un vecteur d'intensités totales pour chaque secteur de production et pour chaque indicateur Pbs (montant physique/ millier de

USD), le vecteur d'intensité totale (F) est estimé comme expliqué dans (Kitzes 2013). Tout d'abord, nous avons calculé la production totale (xout) en faisant la somme des lignes de la matrice des transactions intermédiaires et de la matrice de la demande finale pour chaque secteur au cours d'une année donnée, ce qui donne le montant total des biens et services liés aux autres entreprises et aux consommateurs finaux. Ensuite, nous avons calculé le vecteur d'intensité directe (f) pour chaque indicateur Pbs en divisant les valeurs correspondantes (de chaque indicateur) du compte satellite (Q) par la production totale (xout), ce qui donne un vecteur des impacts physiques (CO2, HANPP, azote, phosphore, etc.) associés à une unité de production (généralement 1 USD) de chaque secteur. Ensuite, nous avons calculé la matrice des coefficients techniques (A) en divisant la matrice des transactions intermédiaires par la production totale (xout), le résultat montre la quantité d'intrants nécessaire à un secteur de production provenant d'autres secteurs afin de produire une unité de production (1 USD). Ensuite, nous avons calculé la matrice inverse de Wassily Leontief (L) en soustrayant la matrice (A) d'une matrice d'identité (I) (même dimension que la matrice (A)) puis en l'inversant $(I-A)^{-1}$, ce qui donne une matrice détaillant tous les intrants en amont dans une unité de production (Leontief 1986). Enfin, nous avons estimé le vecteur d'intensité totale TIV (F) (Eq. 01) pour chaque indicateur Pbs en multipliant le vecteur d'intensité directe (f) avec l'inverse de Leontief $(I-A)^{-1}$ qui donne un vecteur détaillant toutes les extensions physiques dans une unité de production pour chaque secteur à la demande finale (en milliers de dollars US), en d'autres termes, il rapporte le montant total des impacts environnementaux en amont (CO2, eau, HANPP...etc).

$$F = f * (I - A)^{-1}$$

Ensuite, étant donné que les vecteurs de demande finale des villes (yA) sont en prix d'achat et (F) en prix de base, une conversion d'un des vecteurs est nécessaire, dans cette étude nous avons converti les VIT (F) pour chaque indicateur Pbs du prix de base au prix d'achat, sachant que la valeur monétaire d'un objet en prix d'achat est égale à la valeur monétaire du même objet en prix de base en ajoutant la marge commerciale, la marge de transport, les taxes et en soustrayant les subventions (Eq. 02), les tableaux sont fournis par Eora. Cependant, il est pertinent de souligner que le commerce et le transport d'un objet donné sont également associés à des impacts environnementaux, c'est-à-dire que le commerce et le transport de biens et de services émettent du CO2, contrairement aux taxes et aux subventions, qui ne sont que des transferts monétaires, en tant que tels, et qui ne sont associés à aucun impact environnemental d'aucun indicateur.

$$PurchaserPrice = Baseprice + TransportMargin + TradeMargin + Taxes - Subsidies$$

Pour convertir les VIT des prix de base en prix d'achat (Eq. 03), nous avons calculé le pourcentage du prix de base en prix d'achat en divisant l'ensemble du tableau de la demande finale en prix de base par l'ensemble du tableau de la demande finale en prix d'achat pour chaque année d'étude, et la même méthode est appliquée pour estimer les pourcentages de la marge de transport et de la marge commerciale. Cela donne un vecteur en unité monétaire (US\$) en prix d'achat en utilisant l'équation suivante :

$$TIV_{pp} = (TIV_{bp} * Percent_{bp}) + (TIV_{trade} * Percent_{trade}) + (TIV_{transport} * Percent_{transport})$$

Enfin, pour estimer les empreintes des villes (impacts environnementaux urbains des indicateurs du 7ème Pbs), nous avons multiplié les vecteurs d'intensité totale FF (en prix d'achat) de chaque indicateur avec le vecteur de demande finale urbaine (y_A) (en prix d'achat) de chaque ville comme mentionné dans l'équation suivante :

$$E_{city} = F * y_A$$

D'où:

E_A : Empreinte carbone d'une ville donnée.

E_{city} : Vecteur d'intensité totale (ou *vecteur d'intensités d'empreintes*) en prix d'achat (*intensités de carbone*).

y_A : Vecteur de la demande finale urbaine annuelle en prix d'achat..

Annexes A.04

Informations supplémentaires (IS)

Tableau 01. Méthodes d'inventaires des GES

Méthode d'inventaire	Échelle	Caractéristiques
IPCC	Niveau national (IPCC 2006) Top-Down/Bottom-Up	Cette méthodologie a été créée pour rapporter le bilan carbone des six gaz à effet de serre (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, HFC _s , PFC _s , SF ₆) dressés par le protocole de Kyoto
ACV ou PA	Multi scalaires Bottom-Up	Elle est utilisée notamment dans les modèles des systèmes basés sur la consommation (Peter, Helming, et Nendel 2017) Cette méthode rapporte mieux le bilan carbone d'un objet à chaque stade de son cycle de production, cela prend du temps et nécessite une grande quantité de données, des logiciels spécifiques ; Cette méthode n'est pas recommandée à cause de son aspect complexe (Larsen and Hertwich, 2010).
IOA	Multi scalaire Top/Down développée par Leontief (1940)	Elle est extrêmement utile pour quantifier les transactions entre les activités mesurées en unités monétaires (Pichler et al. 2017) ; P-IOA quantifier les transactions par kg ou bien kWh Elle pourrait être utilisée dans l'approche basée sur la consommation Elle demande peu de temps par rapport à l'ACV Elle ne peut pas être appliquée sur les micros systèmes (processus particulier, petits groupes, etc. MRIO, est l'outil le plus populaire car il permet l'analyse à un niveau multirégional (intra - ou inter-pays, interurbains, inter-métropolitains), évitant ainsi le double comptage des émissions.

Source : Auteur, 2019.

Tableau 02. Les climato-septiques

Auteur	Profil	Ouvrage	Provenance	Point de vue
--------	--------	---------	------------	--------------

Prof. Robert M. Carter	Robert M. Carter est professeur de recherche à l'Université James Cook (Queensland) et à l'Université d'Adélaïde (Australie-Méridionale). Il est paléontologue, stratigraphe, géologue marin et environnementaliste avec plus de trente ans d'expérience professionnelle.	Ten facts & Ten Myths on Climate Change	James Cook University, Queensland, Australia	Le GIEC n'est pas un organisme scientifique, mais plutôt politique qui mène fatalement au protocole de Kyoto ; Le changement climatique n'est pas un processus linéaire déterministe (chaotique), le GIEC ne pourrait jamais prédire les anomalies des températures à l'horizon de 2100 ; La plus grande fausseté au sujet du réchauffement climatique humain est l'affirmation que presque tous les scientifiques sont d'accord que cela se produit, et à un taux dangereux.
Stanislas de Larminat	Ingénieur agronome	Écologie chrétienne, n'est pas ce que vous croyez ? Climat et si la vérité nous rendait libres ?	France	Le GIEC emprunte une probabilité subjective lors de l'élaboration de ces scénarios ; Au lieu de parler de degré de croyance, il faudrait parler au degré de probabilité.
Andrei Illarionov	Conseiller principal du président russe Poutine	The Russian Academy of Sciences	Russie	<i>'L'une des idéologies les plus agressives, intrusives et destructrices depuis l'effondrement du communisme et du fascisme.'</i> , en décrivant le GIEC.
Gosta Pettersson	Chercheuse	Falskt alarm, Klimatfrag en ur	Suède	Montrer que le dioxyde de carbone anthropique ne stagne pas dans l'atmosphère (et qu'il y

		vetenskaplig aspect		a deux types de dioxyde de carbone).
--	--	---------------------	--	--------------------------------------

Source : Auteur, 2017.

Tableau 03. Les protocoles proposés pour lutter contre les changements climatiques

Année	Organisme	Nomenclature	Commentaire
2009	ICLEI	Protocole international d'analyse des émissions de GES des collectivités locales (IEAP)	Représente les lignes directrices pour reporter les GES. Concernant les GES (CO ₂ , N ₂ O et CH ₄).
2010	Commission Européen	Plan climat énergie qui se base sur Inventaire des Émissions de Base (IEB)	Se base sur une approche de production. Reporter le CO ₂ seulement. Elle n'est pas considérée comme une méthode complète et compréhensive.
2010	Banque mondiale (BM), programme des Nations-Unies pour l'environnement (PNUE)	Norme internationale sur les gaz à effet de serre pour les villes (ISC)	Presque la même méthodologie avec IEAP établie par ICLEI. Prend en compte les deux types des émissions (relatives aux productions/consommations)
2013	British Standard Institution (BSI)	Spécification publiquement disponible 2070	Un document ayant des normes pour rapporter les GES. Il se base sur deux méthodologies (directe et chaîne d'approvisionnement) DPSC. Approche de production plus une approche de consommation.
2014	WRI/C40/ICLEI	Protocole mondial pour les émissions de GES à l'échelle communautaire (GPC)	Applicable sur les villes, pays, continents, etc. Ayant deux approches (i) se focalise sur des limites géographiques en prenant en compte les deux types de modèles (production/consommation) ; (ii) les émissions induites par la ville dépendent de l'endroit où elles se produisent physiquement.

Source : Etabli par l'auteur sur la base de (Lombardi, 2017).

Tableau 04. Evaluation de l'empreinte carbone à l'échelle des villes (revue de littérature)

Country	City	Year	Metric	Approach	Study framework	Author
<i>16 global cities</i>	Moscow, Hong Kong, Singapore, Sydney, Toronto, New York, Los Angeles, Delhi, Cape Town, Beijing, Bangkok, Pao Paulo, Tokyo, Stockholm, Vienna, London.	2020	Total carbon inflow (TCI) and per capita gross domestic product in purchasing power parity (GDP-PPP).	Top-Down	Developing a new method which accounts both carbon emissions that are inside, and also leaving a given city. The method is based on the city metabolic approach. Results show that over 88% of urban carbon emissions are indeed imported from outside the city boundary.	(Chen et al. 2020b)
<i>Middle-East and North Africa region</i>	Major cities of the Middle East and North Africa region	2020	CO ₂ footprint	Top-Down	The study aims to estimate carbon emissions for major cities in the MENA region using Extended-Environmental Input-Output analysis. Results display that urban carbon emissions are bigger than the national inventories by 17%. As such, cities' carbon inventories and mitigation strategies are more likely to be relevant for safeguarding Earth's climate	(Hachaichi and Baouni 2020)

					system rather than national actions.	
<i>Spain</i>	Barcelona	2019	GHG footprint	Top-down	This study sets out to estimate the carbon footprint of tourism in Barcelona, Spain. Knowing that the city accounts above 30 million visitors per annum. The results show that the average carbon footprint of a tourist is 111.6 Kg CO ₂ eq/day.	(Rico et al. 2019)
<i>China</i>	Beijing, Shanghai, Chongqing and Tianjin.	2018	Carbon footprint	Top-Down	The study aims to explore potential errors and uncertainties related to estimation of the carbon footprint of cities-level taking into account a panel data of four cities with different city-level IO data resolution.	(Fry et al. 2018b)
<i>World</i>	13 000 city world-wide	2018	Carbon footprint	Top-Down	A gridded model of city footprints (GCMCF) was proposed by downscaling the carbon footprints of 13 000 cities into a 25 m gridded model.	(Moran et al. 2018b)
<i>C40's cities</i>	79 cities	2018	GHG footprint	Top-Down	Analyzing 76 Cities consumption-based emissions per capita using	(C40 Cities 2018)

					MRIO-based method, results highlight that CBA of C40 cities are larger than sector-based inventory elaborated by the GPC.	
<i>USA, Germany, India, Mexico</i>	Berlin, Delhi NCT, Mexico City, New York MSA	2017	GHG footprint	Top-Down	The research aims to compare direct and upstream emissions within the three cities taking into account all types of emissions covered by Kyoto protocol.	(Pichler et al. 2017b)
<i>Mediterranean cities</i>	Valetta, Athens, Genoa, Marseille, Rome, Barcelona, Thessaloniki, Valencia, Tel Aviv, Venice, Palermo, Naples, Istanbul, Tunis, Izmir, Cairo, Antalya, Alexandria, Tirana	2017	Carbon footprint	Top-Down	Results of this study show that the main drivers of footprints are (I) food, (ii) transportation and (iii) consumption of goods.	(Baabou et al. 2017b)
<i>China</i>	8 Chinese cities	2016	Urban Carbon Footprint (UCF)	Top-Down	The authors aim to investigate on the inflows and outflows of carbon within the selected cities by building a specific global MRIO model only for the selected cities,	(Hu et al. 2016)

					results show that cities with higher consumption such as: Shanghai, Beijing, Dalian and Tianjin should redesign their consumption patterns, on the other hand, cities with lower production efficiency (like: Dalian, Shanghai, Ningbo and Chongqing) should invest more on their technology.	
<i>Australia</i>	Melbourne, Sydney, Brisbane, Adelaide, Perth	2016	Carbon footprint	Top-Down	The study aims to determine an emissions network between Australia's five big cities.	(Chen et al. 2016)
<i>China</i>	Xiamen	2015	GHG footprint	Top-Down	The study tends to evaluate the five urban CF accountings systems: including purely geographic accounting (PGA), community-wide infrastructure footprint (CIF), and consumption-based footprint (CBF) methods, as well as the newly defined production-based footprint (PBF) and purely	(Lin et al. 2015)

					production footprint (PPF) of Xiamen, China. Results exhibit that Xiamen's total urban emissions in 2010 were estimated at 55.2 Mt CO ₂ e, of which carbon flow intra-city sectors were evaluated for 53.7 Mt CO ₂ e.	
<i>World</i>	27 world's biggest cities	2015	Energy and material flows	Top-down	Estimating urban metabolism for 27 cities across the world using annual Input-Output energy and material analysis.	(Kennedy et al. 2015)
<i>World</i>	274 cities	2015	Energy consumption	Top-Down	Investigating factors that contribute to urban energy use and greenhouse-gas emissions: GDP per capita, population density, HDD, CDD, gasoline price, population, household size, urbanization rate and center of commencer Index.	(Creutzig et al. 2015b)
<i>India</i>	Kolkata	2014	Carbon footprint	Top-Down	The study estimates the CF of transportation in the city of Kolkata in India, the study displays that CF variant with different	(Gupta 2014)

					income categories.	
<i>China</i>	four Chinese mega cities: Beijing, Shanghai, Tianjin, and Chongqing	2014	CO ₂ footprint	Top-Down	While in the last three decades China has known a rapid urbanization accompanied with a sharp rise in CO ₂ emissions. The author uses both CBA and PBA in allocating 4 Chinese mega cities CO ₂ emissions in order to push China to a low carbon development.	(Feng et al. 2014)
<i>UK</i>	434 municipalities in the UK	2013	Carbon footprint	Top-down	Evaluating the carbon footprint of 434 municipalities across the UK taking into account urban and rural areas.	(Minx et al. 2013b)
<i>China</i>	Tianjin	2012	CO ₂ footprint	Bottom-Up	The study presents the integration of the carbon footprint into eco-city schema planning via economic analysis and least cost planning analysis in coastal areas.	(Wu, Jiang, and Yang 2012)

Source : Auteur, 2020.