

République Algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieurs et de la recherche scientifique
École Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme

epau

Laboratoire : Architecture et environnement



Mémoire pour l'obtention du diplôme de
Master en Architecture
Option : Architecture, construction et environnement

Thème :

**Les effets de la forme architecturale des établissements
éducatifs sur le confort thermique et l'efficacité
énergétique**

Cas d'étude : Le groupe scolaire Elwarthilani Bordj El Bahri, Alger

Présenté par :
TABAICHOUNT Amina

Mémoire dirigé par :

Dr. KHELIFI Lamia

Maitre de conférences, Institut d'architecture de Blida.

Jury :

Présidente de jury : Mme. KENTACHE Soraya SP1.

Examinatrice : Mme. DAOUDI Monia SP2.

Examinatrice : Mme. KHETAB Samira (EXT)

Soutenu le 24-02-2021

Remerciements :

Je remercie dieu de m'avoir donné le courage et la volonté de mener à bien ce travail.

J'exprime mes profonds remerciements à Docteur KHELIFI Lamia pour l'encadrement de mon mémoire, pour toutes les informations qu'elle m'a apporté, pour les conseils qu'elle m'a donnés, pour son suivi, sa disponibilité, sa sympathie ainsi que sa patience et son intérêt porté sur le travail que j'ai réalisé.

Je tiens également à remercier les membres de jury d'avoir accepté d'être examinateurs de ce travail, en espérant je serais tiré profit de leur remarques, conseils et orientations.

Enfin, et surtout, je tiens à remercier ma famille et mes amis, pour m'avoir soutenu tout au long de mon travail.

Et à tous ceux qui ont contribué est aidé de près ou de loin à élaborer ce travail, pour leurs soutiens et leurs encouragements.

ملخص:

هذه الدراسة هي جزء من السياق العالمي لتحول الطاقة في قطاع البناء، وهذا الأخير هو المستهلك الأول للطاقة في الجزائر، وهو قطاع غير منتج ولكنه كثيف الاست خاصة تلك التي تدعم استخدام تكييف الهواء والتدفئة. لتحسين مستوى الراحة الحرارية للركاب. يستهدف بحثنا تقدير الطاقة للمؤسسات التعليمية. كدراسة حالة، نأخذ مدرسة الورتيلاني (برج البحري، الجزائر) وشكلين آخرين اقترحناهما، الهدف هو تحسين الراحة وتقليل استهلاك الطاقة.

من أجل الوصول لهذا الهدف، أجرينا بحث مرجعي حول شكل المبنى، كفاءة الطاقة، كذلك الهندسة المعمارية للمدارس في الجزائر ودرسنا استهلاك الطاقة في المشاريع المعمارية المدرسية كحقيقة. استخدمنا المحاكاة الحرارية باستخدام برنامج ايكودزاينر ستار لتكون قادرا على تقييم استهلاك الطاقة السنوي ومن خلال أهداف الأشكال المختلفة للمؤسسات التعليمية (النموذج الوحيد المتغير).

يعتمد هذا البحث على دراسة مقارنة لنتائج المحاكاة ويتكون من اقتراح نموذج يمكنه تحسين مستوى الراحة الحرارية وتوفير الطاقة في مناخ البحر الأبيض المتوسط.

الكلمات المفتاحية: استهلاك الطاقة، الراحة الحرارية، المؤسسات التعليمية، شكل، مناخ البحر الأبيض المتوسط.

Abstract :

This study is part of the global context of the energy transition in the building sector, the latter which is the first energy consumer in Algeria, a non-productive sector but energy intensive especially those which support used for air conditioning and heating. In order to improve the thermal comfort level of the occupants. Our research targets the energy estimation of educational establishments. We take as a case study the Elwarthilani school group (Bordj El Bahri, Algiers) and two other forms that we have proposed. The objective is to improve comfort and reduce energy consumption.

In order to achieve this objective, we carried out a bibliographical research on the form of building, energy efficiency as well as school architecture in Algeria and we studied the energy consumption in school architectural projects as a fact. We took refuge to thermal simulation using EcoDesigner STAR software to be able to evaluate the annual energy consumption and by targets of different forms of educational establishments (the only dependent form).

This research is based on a comparative study of the results of simulations and consists of the proposal of a model of form of educational establishment which can improve the level of thermal comfort and save energy in a Mediterranean climate.

Key words : energy consumption, thermal comfort, educational establishments, form, Mediterranean climate.

Résumé :

Cette étude s'inscrit dans le contexte global de la transition énergétique dans le secteur du bâtiment, ce dernier qui est le premier consommateur d'énergie en Algérie, un secteur non productif mais énergivore surtout ceux qui sont utilisée pour la climatisation et le chauffage, dans le but d'améliorer le niveau de confort thermique des occupants. Notre recherche cible à l'estimation énergétique des établissements éducatifs. Nous prenons comme cas d'étude le groupe scolaire Elwarthilani (Bordj El Bahri, Alger) et deux autres formes que nous avons proposées. L'objectif est d'améliorer le confort et diminuer la consommation énergétique.

Afin d'atteindre cet objectif, nous avons effectué une recherche bibliographique sur la forme de bâtiment, l'efficacité énergétique ainsi que l'architecture scolaire en Algérie et on a étudié la consommation énergétique dans les projets architecturaux scolaires comme un fait, Nous nous sommes réfugiées à la simulation thermique à l'aide de logiciel EcoDesigner STAR pour pouvoir évaluer la consommation énergétique annuelle et par cibles de différentes formes des établissements éducatifs(la forme la seule variante dépendante).

Cette recherche est fondée sur une étude comparative des résultats de simulations et consiste à la proposition d'un modèle de forme d'établissement éducatif qui peut améliorer le niveau du confort thermique et faire des économies d'énergie dans un climat méditerranéen.

Mots clés : consommation énergétique, confort thermique, établissements éducatifs, forme, climat méditerranéen.

Liste des tableaux :

Tableau I. 1. : typologie d'écoles selon leurs capacités d'accueil. Source : (Ministère de l'éducation nationale, 1982).....	26
Tableau I. 2 : La table de recommandations pour le climat de Belem (Bresil). Source : A. Liébard et A. De Herde, 2005.....	38
Tableau I.3 :la table de recommandation pour le climat de New Delhi (Inde). Source : A. Liébard et A. De Herde, 2005.....	39
Tableau I. 4 : La table de recommandations pour le climat de Bamako (Mali). Source : A. Liebard et A. De Herde, 2005.....	40
Tableau I. 5 : La table de recommandations pour le climat de Bagdad (Irak) Source : A. Liebard et A. De Herde, 2005.....	41
Tableau I. 6 : La table de recommandations pour le climat de Nairobi (Kenya). Source : A. Liebard et A. De Herde, 2005.....	43
Tableau I. 7 : La table de recommandations pour le climat de Tel-Aviv (Palestine occupé). Source : A. Liebard et A. De Herde, 2005.....	44
Tableau I.8 : les critères d'évaluation LEED de l'école primaire de la Grande-Hermine. Source : https://www.voirvert.ca/projets/projet-etude/1%E2%80%99ecole-primaire-de-la-grande-hermine#Equipe	51
Tableau II.1 : Le coefficient de forme de différents volumes. Source : Auteur.....	75
Tableau II.2 : consommation trimestrielle d'énergie de groupe scolaire Elwarthilani. Source : Auteur.....	80

Liste des figures :

Figure I.1: Gains thermiques internes d'un espace source : Auteur.....	13
Figure I-2 : Bilan de l'énergie primaire et finale. Source :(ADEME, Thierry LAFFONT, 2008).....	14
Figure I. 3 : Répartition de la consommation du secteur tertiaire par branche. Source : APRUE, 2019.....	14
Figure I. 4 : Répartition de la consommation du secteur tertiaire par types d'énergie. Source APRUE, 2019.....	14
Figure I-5 : Principes du chauffage solaire passif. (Http://ftp.clermont-fd.archi.fr/).....	18
Figure I-6 :Principes de Stratégie d'été refroidissement naturel. (Http://ftp.clermont-fd.archi.fr/).....	20
Figure I.7. Typologie de plan à coursive (simple distribution) /Source/ (Tebbouche H ,2010).....	24
Figure I.8. Typologie de plan à corridor central (double distribution). Source : (Tebbouche H ,2010).....	25
Figure I. 9 : Types de modèles conceptuels de bâtiments scolaires. Source : A. Rigolon, 2010.....	31
Figure I. 10 : Variation de consommation de chauffage en relation avec le coefficient de la forme Cf dans un climat froid, Paris. Source : [Depecker, 2001, pp.630 et 633].....	34
Figure I. 11 : Variation de la consommation de chauffage en relation avec le coefficient de la forme Cf dans un climat tempéré, Carpentras. Source : [Depecker Pet al, 2001, p.634].....	35
Figure I. 12 : Les 10 typologies utilisées par Behsh (2002).....	36
Figure I. 13 :Le bâtiment scolaire type « ATHINA » et ses configurations les plus communes. Source : Dimoudi et Kostarela (2009).....	37
Figure I. 14 : Village traditionnel (Laos), Source : A. Liébard et A. De Herde, 2005.....	39
Figure I. 15 : Tapisserie représentant diverses activités en zone tropical sèche, Source : A. Liébard et A. De Herde, 2005.....	40
Figure I. 16 : Ville de la vallée du M'Zab (Sahara algérien). Source : A. Liébard et A. De Herde, 2005.....	41
Figure I. 17 : Eastate à Harare (Zimbabwe) (arch.M.L. Peace.) Source : A. Liébard et A. De Herde, 2005.....	42
Figure I. 18 : Première maison solaire passive française en méditerranée (arch.M.erber). Source : A. Liébard et A. De Herde, 2005.....	44
Figure I.19 : Le lycée Kyoto à Poitiers. Source : https://www.construction21.org/france/case-studies/h/lycee-kyoto-a-poitiers.html	46
Figure. I.20: Toitures terrasses végétalisées de Lycée Kyoto.	47
Figure. I.21 : Cloisons lourdes en béton (Inertie thermique) et enveloppe isolée de lycée Kyoto.....	47
Figure.I.22 : Panneaux photovoltaïques en toiture de lycée Kyoto.....	47
Figure.I.23 : Atrium emblématique (confort d'été et éclairage naturel), Lycée Kyoto.....	47

Figure I.24 :Vue générale de l'école primaire de la Grande-Hermine. Source :https://www.cscapitale.qc.ca/ecole/ecole-de-la-grande-hermine/.....	50
Fig. I.25 : L'atrium de la Grande-Hermine. Source : https://projetsverts.voirvert.ca/projetS/ école- primaire-de-la-grande-hermine, réadapté par l'auteur.....	51
Fig. I.26 : Toitures terrasses végétalisées de la Grande Hermine. Source : https://projetsverts. voirvert.ca/projets/école-primaire-de-la-grande-hermine, réadapté par l'auteur.....	51
Figure II.1 Situation géographique de la commune de Bordj El Bahri à l'échelle nationale. Source : Algeria_relief_location_map.jpg consulté le 05-02-2021, réadapté par l'auteur.....	55
Figure II.2 : les températures mensuelles en C° de Bordj El Bahri. Source : station météorologique de Dar-El-Beida.....	56
Figure II.3 : Vitesses de vent Bordj El Bahri, Alger Source : station météorologique de Dar-El-Beida.....	56
Figure II.4 : Rose des vents Bordj El Bahri, Alger. Source : station météorologique de Dar-El-Beida.	57
Figure II.5: Les précipitations mensuelles de Bordj El Bahri., Alger. Source : station météorologique de Dar-El- Beida.....	57
Figure II.6 : L'ensoleillement mensuel de Bordj El Bahri., Alger. Source : station météorologique de Dar-El-Beida.....	58
Figure II.7 : Plan de situation de groupe scolaire. Source : GOOGLE EARTH (Réadapté par l'auteur).....	58
Figure II.8 : Plan de masse de groupe scolaire. Source : bureau d'étude DAHOU (réadapté par l'auteur).....	59
Figure II.9 : Environnement immédiat de groupement scolaire. Source : Auteur.....	60
Figure II.10 : Environnement immédiat du groupe scolaire. Source : Auteur.....	60
Figure II.11 : le bloc du groupe scolaire (deuze classes, deux salles d'informatiques et deux salles D'enseignants). Source : Auteur.....	61
Figure II.12 : la salle de classe de groupe scolaire Source : bureau d'étude DAHOU (réadapté par l'auteur).....	61
Figure II.13 : L'interface du logiciel ArchiCad. Source : Auteur.....	62
Figure II. 14 : Interface de logiciel EcoDesigner STAR. Source : Brochure de marketing EcoDesigner STAR, 2020.....	63
Figure II. 15 : Interface de logiciel EcoDesigner STAR. Source : Auteur.....	65
Figure II. 16 : Interface de logiciel EcoDesigner STAR. L'occupation par les personnes. Source : Auteur.....	66
Figures II. 17 : Interface de logiciel EcoDesigner STAR. L'insertion des données météorologiques. Source : Auteur.....	67

Figures II. 18 : La forme existante, modèle du cas d'étude. Source : Auteur.....	68
Figures II. 19 : La forme du 1er modèle proposé. Source : Auteur.....	69
Figures II. 20 : La forme du 2ème modèle proposé. Source : Auteur.....	69
Figures II. 21 : La consommation énergétique globale annuelle de tous les modèles. Source : Auteur.....	71
Figures II. 22 : La consommation en chauffage de tous les modèles. Source : Auteur.....	72
Figures II. 23 : La consommation en climatisation de tous les modèles. Source : Auteur.....	73
Figures II. 24 : La consommation en éclairage et en équipement de tous les modèles. Source : Auteur.....	74
Figures II. 25 : le coefficient de forme de différents modèles. Source : Auteur.....	75
Figures II. 26 : Rapport consommation globale annuelle /compacité. Source : Auteur.....	76
Figures II. 27 : Rapport consommation en chauffage /compacité. Source : Auteur.....	77
Figures II. 28 : Rapport consommation en climatisation /compacité. Source : Auteur.....	78
Figures II. 29 : Rapport consommation d'éclairage et équipement /compacité. Source Auteur.....	79
Figures II.30 : Consommation annuelle de groupe scolaire Elwarthilani, tous formats d'énergie. Source Auteur.....	80
Figures II.31 : Consommation trimestrielle de groupe scolaire Elwarthilani, tous formats d'énergie. Source Auteur.....	80
Figures II.32 : Comparaison entre la consommation annuelle réelle et simulée de groupe scolaire Elwarthilani. Source Auteur.....	82.

Tables des matières :

1. Introduction générale.....	1
2. Problématique.....	2
3. Hypothèses.....	2
4. Objectifs de la recherche.....	3
5. Méthodologie.....	4
6. Structure du mémoire.....	4

I. Etat de l’art

I.1 Introduction.....	6
I.2 Définition des concepts	6
I.2.1 Forme du bâtiment.....	6
I.2.2 Etablissement et architecture scolaire.....	7
I.2.3 Espace scolaire.....	9
I.2.4 Etude d’adaptation.....	10
I.2.5 Confort thermique.....	10
I.3 Problématique énergétique.....	13
I.3.1 La consommation énergétique.....	13
I.3.2 Efficacité énergétique dans le bâtiment.....	15
I.3.3 L’architecture bioclimatique.....	16
I.3.4 Les labels et certifications.....	20
I.4 La forme de bâtiment et architecture scolaire.....	24
I.4.1 L’architecture scolaire en Algérie.....	24
I.4.2 L’école de demain.....	28
I.5 Climat et forme.....	33
I.5.1 L’impact sur l’architecture.....	33
I.5.2 Recommandation liées au climat.....	37
I.6 Analyse des exemples.....	48
I.7 Synthèse.....	53

II. Cas d’étude : simulations numériques et résultats

II.1 Introduction.....	54
II.2 Méthodologie de travail.....	54
II.2.1 Présentation et situation géographique de la commune de Bordj El Bahri.....	54
II.2.2 Les données climatiques.....	55

II.2.3	Choix et présentation du cas d'étude.....	58
II.3	L'outil de simulation (présentation d'EcoDesigner STAR avec ArchiCAD).....	62
II.3.1	Critères de choix d'EcoDesigner STAR.....	63
II.4	Données de bases.....	65
II.4.1	L'occupation par les personnes.....	66
II.4.2	Système de ventilation, chauffage et de climatisation.....	66
II.4.3	Les données météorologiques.....	67
II.5	Variables indépendantes.....	67
II.5.1	Forme de bâtiment.....	67
II.5.2	Les types de modèles conceptuels proposés à la simulation.....	68
II.6	Variable dépendante.....	70
II.6.1	Consommation énergétique.....	70
II.6.2	L'interprétation des résultats obtenus.....	70
II.6.3	Comparaison des résultats de consommation avec les résultats réels.....	80
II.7	Conclusion.....	83
	Conclusion générale	84
	Bibliographie.....	86
	Annexes.....	89

Introduction générale

1. Introduction :

L'intégration des principes d'un développement durable et équitable dans notre vie quotidienne est une chance pour nous tous. En effet, la démarche environnementale permet de mettre en valeur le patrimoine naturel et bâti ainsi que la richesse humaine, culturelle et économique d'une ville, d'une région ou d'un pays. Elle impose cependant un changement sensible de nos comportements, une remise en cause de pratiques routinières et une nouvelle manière de concevoir notre cadre de vie. (Dominique Gauzin-Müller, 2006).

Depuis ces dernières décennies, l'homme s'est rendu compte de la fragilité de l'environnement dans lequel il vit. A cause de ses actions irréversibles, il a participé à la dégradation de la planète à plusieurs échelles, à savoir : l'effet de serre, le réchauffement climatique, l'épuisement des ressources et la dégradation de la couche d'ozone, autant de conséquences qui ne font qu'accentuer la vulnérabilité de notre environnement et la qualité de vie. Plusieurs domaines, comme celui du bâtiment, peuvent avoir des incidences néfastes sur l'équilibre de la planète. Ces effets se mesurent surtout sur le volet énergétique. Nous sommes donc appelés à chercher des solutions afin de minimiser les risques sur l'environnement et de lutter contre le gaspillage des ressources énergétiques et diminuer ainsi les risques liés à l'effet de serre et à l'épuisement des ressources fossiles.

De nos jours, avec l'augmentation accélérée de la consommation énergétique, l'efficacité énergétique est rapidement devenue un des enjeux majeurs de cette époque plaçant le bâtiment en premier rang d'importance. Classé comme secteur énergivore, le bâtiment inflige un impact sur l'environnement avec un taux de consommation qui varie entre 30 et 40% des consommations finales mondiales (Björn Stigson, WBCSD, 2013).

En Algérie, l'Agence nationale pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie (APRUE) a souligné que le secteur du bâtiment est un secteur non productif mais énergivore et qui constitue le premier consommateur d'énergie estimé à 41% du taux de l'énergie finale.¹

¹ L'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (APRUE), <http://www.aprue.org.dz/maitrise-energetique.htm> (consulté le 20 janvier 2020).

En général, la durée de vie d'un bâtiment est supérieure à 40 ans, les bâtiments en béton armé ont une durée de vie de plus de 100 ans (S. Rostam). De plus, parce que les bâtiments ont un taux élevé de la consommation d'énergie due à des facteurs tels que le contrôle du chauffage et du refroidissement, l'éclairage et les systèmes de plomberie, il est nécessaire de considérer le cycle de vie du bâtiment et de contrôler ses opérations pour mettre en œuvre l'économie d'énergie. Cependant, à mesure que les bâtiments vieillissent, la performance énergétique des bâtiments diminue.²

L'Algérie qui s'est engagée dans une politique de transition énergétique prévoit d'économiser d'ici 2030 plus de 73 millions de tonnes équivalent pétrole grâce à des mesures d'efficacité énergétique et le développement des énergies renouvelables, ce qui va donner une grande importance au secteur du bâtiment. De nos jours, plusieurs notions ont été introduites telle que 'le bâtiment intelligent' adoptant des solutions techniques et organisationnelles adéquates pour assurer une efficacité thermique et énergétique des bâtiments. L'objectif est donc de réduire la consommation résidentielle et tertiaire de 10 à 15 % d'ici l'horizon 2030.³

Dans notre recherche, nous nous intéressons principalement à l'architecture des établissements scolaires et plus particulièrement sur les effets de la forme architecturale sur l'efficacité énergétique et le confort thermique des usagers, dans le but de déduire quelques recommandations pour une bonne conception de ces projets socio éducatifs qui assure une meilleure performance énergétique et un environnement confortable et sain.

2. Problématique :

Notre problématique s'intéresse à une question d'actualité, qui est celle de l'amélioration du confort thermique et l'efficacité énergétique dans les bâtiments à usage éducatif, ce qui permettrait d'améliorer la qualité environnementale de ces derniers et d'offrir des établissements éducatifs modernes et qui pourraient par la suite offrir des programmes d'enseignements de qualité et rehausser ainsi le rendement pédagogique des établissements scolaires en Algérie, tout en rationalisant la consommation énergétique et s'inscrire dans le plan d'action du gouvernement concernant la transition énergétique. La problématique de notre recherche se résume donc en les questions suivantes :

² Energy & Buildings (2020), <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109930>

³ <https://www.econostrum.info/>(consulté le 15/03/2020).

Quels sont les aspects à prendre en charge afin de garantir une efficacité énergétique et un confort thermique dans les établissements éducatifs ?

Comment peut-on améliorer le confort thermique et l'efficacité énergétique dans les établissements éducatifs par le biais de la forme architecturale ?

3. Hypothèses :

Afin de répondre à cette problématique, nous avons formulé les hypothèses suivantes :

- ❖ L'architecture bioclimatique adaptée à ces établissements éducatifs et une compacité de la forme pourraient garantir un confort thermique des usagers et une diminution des pertes énergétiques.
- ❖ La forme de l'enveloppe du bâtiment peut avoir un impact sur l'efficacité énergétique des établissements scolaires, une simulation numérique par des logiciels adéquats (éco designer) pourrait faire sortir les paramètres à prendre en considération pour un bon choix conceptuel.

4. Objectifs :

Notre objectif est d'arriver à :

- ❖ Evaluer les déperditions et les gains énergétiques hiver/été ainsi que la consommation énergétique de l'équipement.
- ❖ Réunir les conditions de confort.
- ❖ Donner quelques orientations sur les effets de la forme architecturale d'un établissement éducatif efficient du point de vue énergétique.

5. Méthodologie :

Dans le but d'atteindre nos objectifs et de confirmer ou informer nos hypothèses de recherche, le déroulement de notre travail suit les étapes suivantes :

Etape I : Recherche bibliographique

Cette étape vise à comprendre tous les éléments, les définitions et les concepts de base en rapport à notre sujet de recherche.

- Une synthèse bibliographique qui permet d'être à jour sur l'état de la recherche en matière de confort et d'efficacité énergétique dans les bâtiments éducatifs
- Une analyse d'exemples internationaux.

Etape II : Travail opérationnel

- Essayer d'extrapoler quelques recommandations et principes issus des exemples étrangers des équipements éducatifs dans notre cas d'étude (contexte algérien), l'exemple local fera objet d'une simulation numérique et d'analyse des résultats.

6. Structure du mémoire :

Afin d'atteindre notre objectif de recherche et d'apporter les éléments de réponse à la problématique posée, notre mémoire se structure comme suit :

Introduction générale

C'est la partie qui illustre d'une manière précise notre problématique : commençant par une introduction générale qui donne une idée générale sur notre recherche puis une problématique solutionnée par des hypothèses qui se réfèrent à des objectifs et de méthodologie.

Chapitre I : Etat de l'art

- La première partie présente les définitions et les caractéristiques des concepts liés au thème, Ensuite, on présente l'état de l'art des bâtiments scolaires, le contexte scolaire algérien et la tendance actuelle de conception de ces bâtiments, suivis par la consommation énergétique dans les établissements scolaires et les facteurs affectant les performances de ces derniers.
- Dans la deuxième partie, une synthèse bibliographique sur les principales recherches qui touchent le domaine de l'efficacité énergétique dans les bâtiments éducatifs suivie d'une analyse des exemples internationaux.

Chapitre II : Etude de cas

Consacré à l'étude de cas et à l'investigation méthodologique par le biais de la simulation numérique et l'étude paramétrique pour faire ressortir les éléments primordiaux liés à notre problématique.

Conclusion générale : synthèse de principaux résultats du travail.

Chapitre I :

Etat de l'art

I.1 Introduction :

Ce chapitre a pour objectif de dresser un état de l'art pour ce qui concerne l'ensemble de connaissances relatives au thème étudié (l'établissement éducatif et ses performances énergétiques), commençant par la compréhension des différents concepts et notions liés à la forme architecturale et l'établissement éducatif, son évolution à travers le temps, la politique du secteur éducatif en Algérie et les différents programmes réalisés par l'état dans ce secteur, la connaissance de la forme et l'appropriation à sa fonction, ainsi que la question de l'efficacité énergétique dans les bâtiments scolaires, de l'architecture bioclimatique et quelques rappels sur le plan de la réglementation algérienne en la matière. Enfin, et avant d'analyser des exemples de projets internationaux, nous présentons une synthèse bibliographique sur les principales recherches d'actualité qui touchent au domaine de l'efficacité énergétique dans les bâtiments éducatifs.

I.2 Définitions de concepts :

I.2.1 La forme du bâtiment :

« La forme architecturale est comme un iceberg, dont la partie visible n'est qu'une fraction de la masse totale » (Aulis Blomstedt 1961).

La définition du concept forme varie selon les disciplines, mais généralement ce concept désigne la manière dont quelque chose se matérialise, est matérialisé ; aspect, état sous lequel il se présente la forme graphique et la forme phonique d'un mot.⁴

« La forme en architecture est le point de contact entre la masse et l'espace... Les formes architecturales, la texture, les matériaux, la modulation de l'ombre et de la lumière, la couleur, tous ces éléments combinés donnent une qualité et une âme à l'espace. La qualité de l'architecture va être déterminé par la capacité et le génie de l'architecte dans la combinaison de tous ces éléments dans la conception des espaces intérieurs et des espaces extérieurs des bâtiments » (Bacon, 1974).

Cette dernière conduira forcément à définir aussi le bâtiment, « un bâtiment est une construction artificielle utilisée pour accueillir des personnes ou des activités. L'enveloppe externe (le sol, le toit et les murs extérieurs) entoure complètement l'édifice et lui confère ainsi

⁴ Dictionnaire de Larousse 2021.

son microclimat intérieur »⁵, Ou en Bref « construction dotée d'un toit et de murs et qui reste à la même place de façon permanente ». ⁶

I.2.1.1 Compacité du bâtiments (coefficient de la forme) :

La notion de compacité d'un bâtiment est apparue au début de recherche sur l'efficacité énergétique,⁷ « représente le rapport de la Surface totale d'enveloppe et du volume habitable d'un bâtiment. Il dépend de la taille du bâtiment et de sa morphologie. ». ⁸La forme même du bâtiment a une forte influence sur ces consommations.

Il y a trois manières d'agir sur le coefficient de forme : ⁹

- Soit en augmentant le volume du bâtiment et, par conséquent, sa taille.
- Soit, pour une forme donnée, en neutralisant une fraction de l'enveloppe.
- Soit en choisissant une forme géométrique favorable.

I.2.1.2 Typologies de bâtiments scolaires :

« Science de l'analyse et de la description des formes typiques d'une réalité complexe, permettant la classification » ¹⁰. En Algérie, le ministère de l'Education nationale classe les écoles en quatre types selon leurs capacités ; de type A (trois salles de classes S.D.C), B (6 S.D.C), C (9 S.D.C), D (12 S.D.C), dont le type « est déterminé selon la typologie officielle des constructions scolaires proposées » (Alain Borie et al 2006).

I.2.2 Etablissement et architecture scolaire :

L'école « Cette institution dont la mission principale, fondatrice est la transmission aux générations montantes les moyens d'assurer tout à la fois, leur avenir et l'avenir du monde » (Meirieu.P 2004).

L'établissement scolaire est un bâtiment architectural omniprésent dans le paysage urbain ou rural. C'est un des bâtiments publics que l'on rencontre le plus fréquemment. Sa conception relève du domaine de l'architecture scolaire. MAZALTO (2007) affirme que l'architecture scolaire n'est pas neutre, une architecture qui est pour l'élève un référent qui le marque pour la

⁵ Les Bâtiments : efficacité énergétique et énergies renouvelables, (Beltrán, Kochova, Pugliese et Sopoliga) Page 03.

⁶ <http://dictionnaire.sensagent.leparisien.fr/BATIMENT/fr-fr/>(consulté le 18 MARS 2020).

⁷ LE COEFFICIENT DE FORME DU BATIMENT Jean-Louis IZARD Laboratoire ABC, ENSA-Marseille Juillet 2006

⁸ <http://www.enviroboite.net/le-coefficient-de-forme-du-batiment>

⁹ LE COEFFICIENT DE FORME DU BATIMENT Jean-Louis IZARD Laboratoire ABC, ENSA-Marseille Juillet 2006

¹⁰ Dictionnaire Larousse, consulté le 21-01-2020.

vie. C'est un lieu où il vit une de ses premières appréhensions de l'espace construit en dehors de son lieu d'habitation. Une architecture qui présente son propre caractère et exige des connaissances approfondies des pratiques pédagogiques et leur évolution dans le temps, elle a pour objectif principal d'offrir aux membres de la communauté scolaire les meilleures conditions de confort et de qualité. De ce fait on doit comprendre quelques missions de l'institution scolaire à travers le système éducatif algérien.

I.2.2.1 Le système éducatif en Algérie :

Le système éducatif algérien assure la prise en charge de l'instruction des Algériens. Il est piloté par le Ministère de l'Éducation nationale (Assan Ramaon, 2000).

Il est stipulé dans la constitution algérienne, notamment son article 53, que l'enseignement est un droit inaliénable. Il est, en outre, obligatoire, gratuit pour tout enfant en âge de scolarité jusqu'à l'âge de 16 ans. ¹¹ Le système éducatif national comprend les niveaux d'enseignement suivants : préparatoire, fondamental (primaire, et moyen), secondaire général et technologique.

a. L'éducation préparatoire :

L'éducation préscolaire regroupe, en amont de la scolarité obligatoire, les différents stades de prise en charge socio-éducative des enfants âgés de trois (3) à six (6) ans.

b. L'enseignement fondamental :

D'une durée de 9 ans constitue une éducation de base commune à tous les élèves ; il est assuré par l'école primaire de 5 ans, et par le collège d'enseignement moyen de 4 ans.

c. L'enseignement secondaire général et technologique :

La réorganisation de l'enseignement post-obligatoire a été mise en œuvre, dans le cadre de la réforme du système éducatif algérien, à partir de l'année scolaire 2005/2006. Il est structuré en trois (03) segments :

Premier segment : l'enseignement secondaire général et technologique,

Deuxième segment : la formation et l'enseignement professionnels,

Troisième segment : l'enseignement supérieur. ¹²

¹¹ <https://www.education.gov.dz/fr/systeme-educatif-algerien>(consulté le 01/04/2020)

¹² <https://www.education.gov.dz/fr/systeme-educatif-algerien>

I.2.2.2 Etablissement publics d'éducation et d'enseignement :

Les établissements publics éducatifs sont nombreux mais ne sont pas suffisants, d'après le système éducatif algérien le taux d'occupation des locaux (nombre d'élève par salle) :

- Dans le primaire : 30
- Dans le moyen : 31
- Dans le secondaire : 31

Sauf que en réalité le nombre d'élèves par classe est trop supérieur par rapport au nombre donné, surtout en nombre des écoles préparatoires par commune parfois n'est pas suffisant pour le nombre réel des enfants âgés de 3ans à 6 ans.

En janvier 2015 ; le ministère de l'éducation national a compté 25 859 établissements, des trois niveaux la commission nationale algérienne pour Unesco de son côté : publié l'évolution des établissements scolaires en Algérie : qui atteint 18 459 école primaire, 5 253 collège et 2 147 lycée distribué sur le territoire national, au totale de 25 861 établissement pour année 2014-2015. ¹³

I.2.3 Espace scolaire :

« Pour bien travailler il faut être heureux à l'école et savoir pourquoi l'on passe la journée. Le confort fait partie d'une journée réussie » (MUSSET M. 2005/05).

« Comme règle générale, la conception de l'école devrait pouvoir fournir un environnement éducatif approprié pour apprendre. Ainsi le rapport des différents éléments de l'école devrait être clairement défini. La conception d'école est la conséquence de l'organisation de ces éléments sur un emplacement donné sur le type du rapport entre les différents éléments. Un bon environnement éducatif peut être obtenu par une bonne organisation organique de l'espace » (AÏCHE, 1987).

L'organisation de l'apprentissage conduit à la définition d'espaces, avec une fonction précise, d'ordinaire délimités par des cloisons fixes ou des murs. Cependant, d'autres moyens de délimitation peuvent être envisagés : différences de revêtement muraux ou du sol, aménagement du mobilier, cloisons coulissantes ou amovibles. Créer des espaces favorisant l'interaction pourrait s'avérer favorable aux apprentissages, imagine par exemple la conception d'espaces plus en retrait, permettant aux élèves de se retrouver en petits groupes pour réfléchir ensemble à la résolution d'un problème (Blyth, 2013). Mazalto et Paltrinieri (2013) suggèrent que la classe devrait se « penser hors les murs » pour favoriser les interactions et le travail en

¹³ <https://www.education.gov.dz/fr/systeme-educatif-algerien>.(consulté le 17/03/2020).

groupes. De plus, la transparence est une tendance actuelle dans la conception des espaces scolaires. En effet, séparer les différents espaces par des vitres, par exemple, peut être un moyen d'assigner à chacun d'entre eux un rôle propre tout en incitant les élèves à nouer des liens entre eux et avec les différentes activités (Blyth, 2013).

I.2.4 Etude d'adaptation :

L'architecture scolaire doit ainsi conduire à construire des espaces favorables aux enseignants et aux équipes pédagogiques et administratives. Les espaces d'apprentissage sont ainsi repensés selon de nouveaux critères : adaptabilité, flexibilité, modularité, polyvalence... (Marchand, 2004). « L'adaptabilité ou la répétitivité consiste à reproduire un ou plusieurs bâtiment types dans le cadre d'une même opération ». ¹⁴

I.2.5 Le confort thermique :

Lorsqu'on évoque le caractère agréable d'un bâtiment, le confort thermique est souvent le premier élément évoqué. Avoir suffisamment chaud l'hiver, mais pas trop l'été, tout en minimisant la consommation énergétique : voilà tout l'enjeu du confort thermique d'un bâtiment durable, qui va bien au-delà du simple contrôle de température. Car la sensation de confort thermique peut être influencée par toute une série de facteurs (activités des usagers, température des parois, ventilation, protections solaires, etc.). ¹⁵

La notion de confort thermique, désigne l'ensemble des multiples interactions entre l'occupant et son environnement où l'individu est considéré comme un élément du système thermique. (Cantin, R. et al, 2005).

I.2.5.1 Les paramètres affectant le confort thermique :

La sensation de confort thermique est fonction de plusieurs paramètres :

- Les paramètres physiques d'ambiance, au nombre de quatre, sont la température de l'air, la température moyenne radiante, la vitesse de l'air, et l'humidité relative de l'air ;
- Les paramètres liés à l'individu, ils sont multiples, on recense notamment deux paramètres principaux qui sont l'activité et la vêtue de l'individu ;

¹⁴ Arrêté interministériel du 15 mai 1988 portant modalités d'exercice et de rémunération de la maîtrise d'œuvre en bâtiment.

¹⁵ guidebatimentdurable.brussels 2021

-Les Paramètres liés aux gains thermiques internes, gains générés dans l'espace par des sources internes autres que le système de chauffage. (Éclairages, appareils électriques, postes informatiques...) (K.Parson, 2003).

I.2.5.2 Les paramètres liés à l'ambiance extérieure :

- La température de l'air ambiant :

La température de l'air, ou température ambiante (T_a), est un paramètre essentiel du confort thermique. Elle intervient dans l'évaluation du bilan thermique de l'individu au niveau des échanges convectifs, conductifs et respiratoires. Dans un local, la température de l'air n'est pas uniforme, des différences de températures d'air se présentent également en plan à proximité des surfaces froides et des corps de chauffe (Liébard, A. et De Herde, A, 2005).

- La vitesse de l'air :

La vitesse de l'air joue un grand rôle dans les échanges convectifs et évaporatoires, elle intervient dans la sensation de confort thermique de l'occupant dès qu'elle est supérieure à 0,2 m/s. (Liébard, A. et De Herde, A, 2005)

- L'humidité relative de l'air :

Elle mesure le rapport, pour une température et une pression d'air données, entre le contenu en vapeur d'eau de l'air présent et sa capacité maximale à en contenir. ¹⁶Selon Liébard A., entre 30% et 70%, l'humidité relative influence peu la sensation de confort thermique. Une humidité trop forte dérègle la thermorégulation de l'organisme car l'évaporation à la surface de la peau ne se fait plus, ce qui augmente la transpiration. (Salomon, T et Bedel, S, 2004)

I.2.5.3 Les paramètres liés à l'individu :

- L'habillement :

Il représente une résistance thermique aux échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement¹⁷, La vêtue a un rôle primordial d'isolant thermique, notamment en période hivernale et dans toutes les ambiances froides. Ce rôle est pris en compte à travers la définition d'un indice de vêtue, exprimé en Clo¹⁴¹⁸, caractérisant la résistance thermique d'un vêtement.

¹⁶ <https://www.eurabo.be/fr/lexique/Humidite-relative-air>

¹⁷ <https://energieplus-lesite.be/theories/confort11/le-confort-thermique-d1> (consulté le 20/10/2020).

¹⁸ Clo : Unité d'isolement vestimentaire, 1 Clo = 0.155 m² °C.W-1)

La nature du tissu, la coupe des vêtements et l'activité du sujet influencent aussi ces échanges thermiques avec l'environnement (Thellier, Françoise, 1999).

- **Activité :**

Est un paramètre essentiel pour la sensation thermique de l'individu et la durée de son repos, un métabolisme (M) selon S. Noha peut produire une énergie de :

- Environ 75 W pour métabolisme de base.
- Environ 105 W pour métabolisme de repos.
- Environ 700 W pour métabolisme de travail.

I.2.5.4 **Paramètres liés aux gains thermiques internes :**

Les gains de chaleur dépendent du type du bâtiment, du nombre des utilisateurs et de son usage. D'après Hugues Boivin (2007), le confort de l'espace est directement influencé par le taux de ces gains internes (figure II.2), on peut dire que ces apports sont inévitables dès lors que les locaux sont habités. Il faut noter cependant que ces apports sont variables selon le comportement des occupants, et qu'ils constituent donc un facteur d'aggravation de l'inconfort chaud, sur lequel les moyens d'action architecturaux sont limités. Seuls, une bonne ventilation et un comportement adéquat de l'occupant peuvent réduire ces apports ou leur influence sur la température intérieure (Izard-L, 1994).

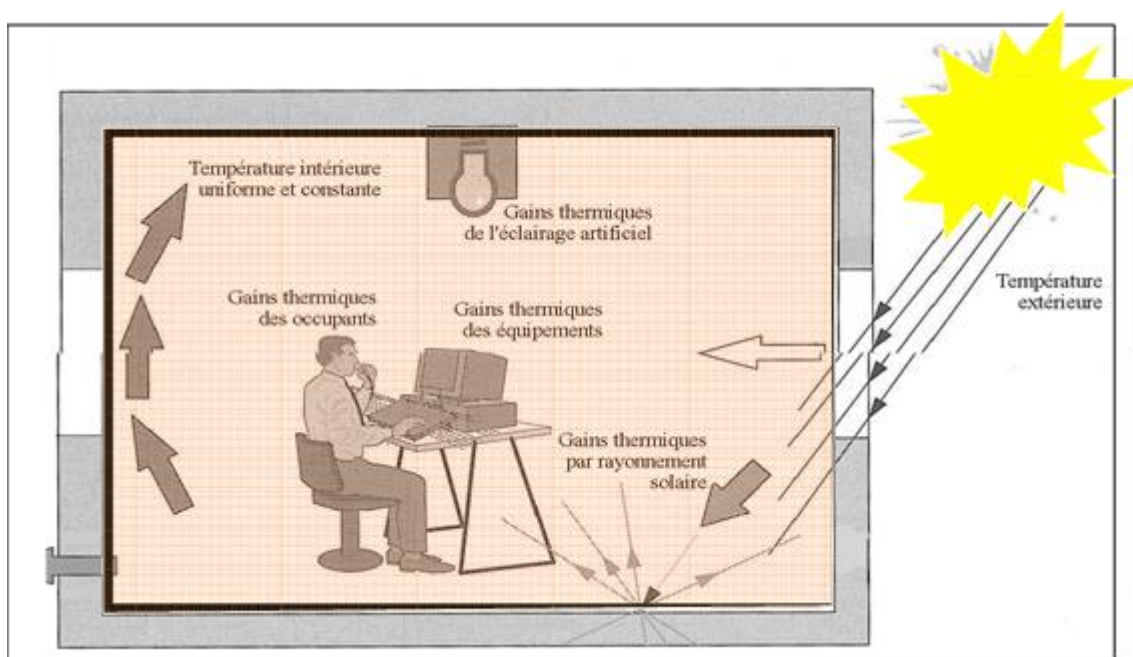


Figure I.1: Gains thermiques internes d'un espace. Source : Auteur

I.3 Problématique énergétique :

I.3.1 La consommation énergétique :

Dans la consommation d'énergie, on distingue deux stades : La consommation d'énergie primaire et celle d'énergie finale (Figure II.2).

L'énergie primaire correspond aux sources d'énergie que l'on trouve dans la nature : combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel) dont la combustion fournit de la chaleur; hydraulique et éolien qui utilisent l'énergie mécanique de l'eau ou du vent pour produire de l'électricité; géothermie qui permet d'utiliser la chaleur de l'eau du sous-sol; énergie solaire thermique (chauffage de l'eau par le rayonnement solaire); énergie photovoltaïque (production directe d'électricité par le rayonnement solaire sur des panneaux de matériaux particuliers).

L'énergie finale correspond aux produits énergétiques qui sont fournis au consommateur : charbon, fioul et essence, gaz naturel, bois, chaleur (réseaux de chaleur), électricité, etc. Dans certains cas, le produit énergétique final est identique au produit primaire (c'est le cas du gaz naturel) ; mais dans la plupart des cas, le produit final résulte d'une transformation à partir des produits primaires : carburants produits par les raffineries de pétrole, électricité produite par les centrales électriques à combustibles fossiles,

La différence quantitative entre énergie primaire et énergie finale vient des consommations d'énergie des industries du système de production, transport et distribution des produits énergétiques, des pertes dans leur transport (lignes électriques, gazoducs) et surtout des pertes d'énergie liées à la transformation de la chaleur en électricité dans les centrales thermiques à combustibles fossiles (Bernard LAPONCHE .2010).

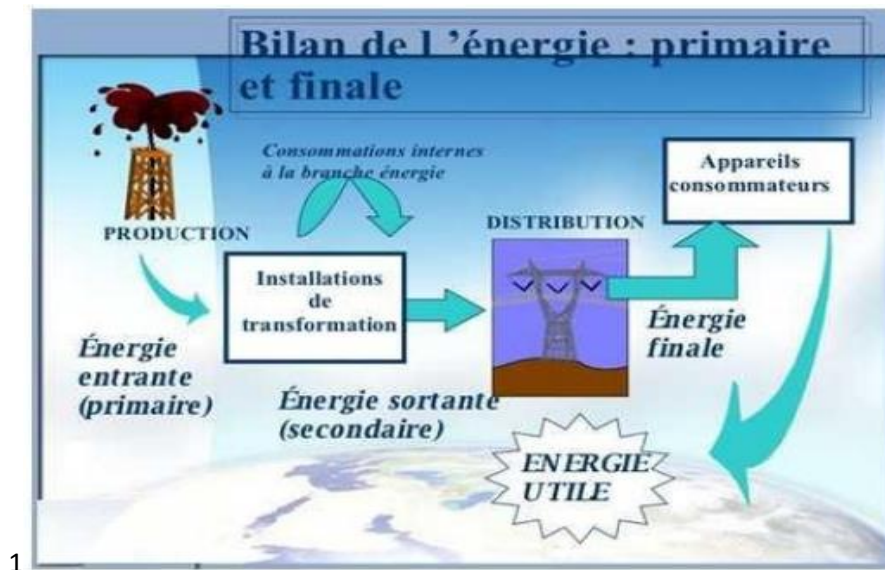


Figure I-2 : Bilan de l'énergie primaire et finale. Source : (ADEME, Thierry LAFFONT, 2000)

I.3.1.1 La répartition de la consommation du secteur tertiaire par branche d'activité :

Etablissements financiers : 47,9%, Commerce : 16%, service fournis aux ménages : 9%, hôtels restaurants cafés : 3,5%, postes et télécommunication : 1,8%, Auxiliaires transports : 1,8%, établissements financiers : 0,6%, Autres : 19,2%.

La répartition de la consommation du tertiaire par produit montre que l'électricité est prédominante. Cela s'explique par l'introduction massive des équipements de chauffage et de climatisation et la généralisation de l'utilisation des matériels bureautiques et informatiques.

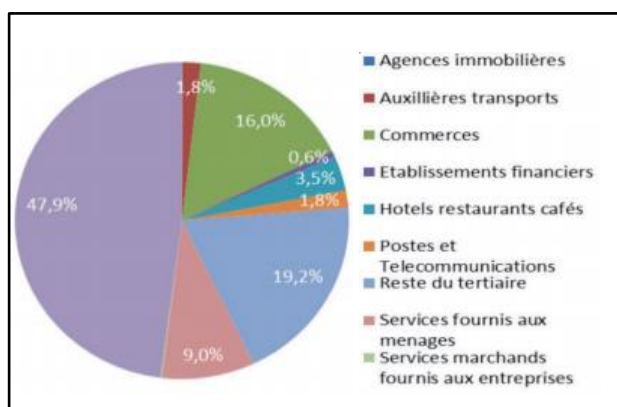


Figure I. 3 : Répartition de la consommation du secteur tertiaire par branche. Source : APRUE, 2019.

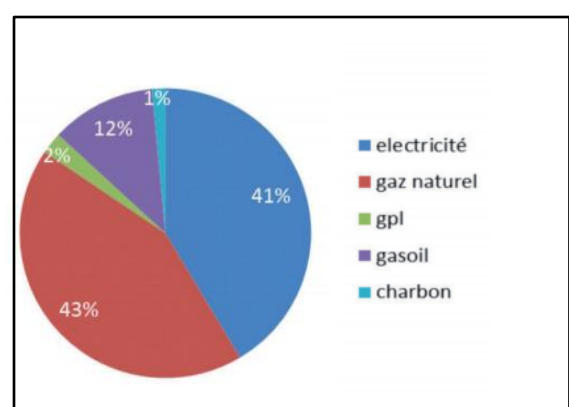


Figure I. 4 : Répartition de la consommation du secteur tertiaire par types d'énergie. Source APRUE, 2019.

Consommation d'énergie en Algérie :

a. Consommation nationale :

La consommation nationale d'énergie (y compris les pertes) a atteint 66,9 M Tep en 2019, reflétant une hausse de 3,0% par rapport à 2018.

b. Consommation finale :

La consommation finale d'énergie a augmenté de (+4,6%) à 50,4 M Tep, tirée essentiellement par le gaz naturel (+6,1%), les GPL (+9,6%), les produits pétroliers (+4,1%) et l'électricité (+2,7%).

La consommation finale des produits pétroliers (y compris GPL) s'est accrue de (+4,9%) en 2019 pour s'établir à 19 M Tep.

La consommation « des ménages et autres » représente près de 46,7 de la consommation finale.

19

I.3.2 Efficacité énergétique dans le bâtiment :

L'efficacité énergétique d'un système est le rapport énergétique entre la quantité d'énergie délivrée et la quantité d'énergie absorbée. Moins de perte il y a et meilleure efficacité énergétique, l'efficacité énergétique est ainsi liée à la maximalisation du rendement. L'augmentation de l'efficacité énergétique dans le bâtiment permet ainsi de réduire les consommations d'énergie, à service rendu égal. Ce qui en découle la diminution des coûts écologiques, économiques et sociaux liés à la production et à la consommation d'énergie.²⁰

« La maîtrise de l'énergie couvre l'ensemble des mesures et des actions mises en œuvre en vue de l'utilisation rationnelle de l'énergie. Elle repose notamment sur des obligations, des conditions et des moyens : l'introduction des normes et exigences d'efficacité énergétique, le contrôle d'efficacité énergétique. » (Loi n° 99-09 du 15 Rabie Ethani 1420 correspondant au 28 juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie).

I.3.3 L'architecture bioclimatique :

L'architecture bioclimatique est une discipline de l'architecture qui valorise l'environnement géographique et climatique d'un bâtiment, dans le respect des modes et rythmes de vie ainsi que de la santé des usagers du bâtiment.²¹

¹⁹ https://www.energy.gov.dz/Media/galerie/bilan_energetique_national_2019_5f7b107553bcd.pdf BILAN ENERGETIQUE NATIONAL - ANNEE 2019 « juillet 2020 »

²⁰ <https://www.climamaison.com/lexique/efficacite-energetique.htm>(consulté le 15 janvier 2021).

²¹ <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Architecture-bioclimatique.html>(consulté le 20 Janvier 2021).

I.3.3.1 Définition de l'architecture bioclimatique :

Esquissée par Olgay (1963), l'architecture bioclimatique apparaît comme principe de conception architecturale qui vise à utiliser, au moyen de l'architecture elle-même, les éléments favorables du climat en vue de la satisfaction des exigences du confort et du bien-être de l'homme.

Selon De herde, H. (2002) l'architecture bioclimatique apparaît comme l'une des réponses pour réduire les consommations énergétiques et donc les émissions de CO₂ en profitant au maximum des apports bénéfiques de l'environnement et plus particulièrement du soleil comme source d'énergie inépuisable. Elle fait appel à des procédés passifs et ne requiert pas de techniques particulières. Ces études nécessitent des connaissances spécifiques en physique du bâtiment que les architectes se doivent d'acquérir.

Le terme Bioclimatique se compose de deux concepts :

- Bio : Biologie, osmose entre l'homme et la nature au sens large.
- Climatique : Faisant référence aux données climatiques d'un lieu.

I.3.3.2 Les principes de l'architecture bioclimatique :

L'architecture bioclimatique possède des principes équivalents à ceux du développement durable. Elle s'inscrit dans une démarche de respect de la biosphère. C'est une pratique écologique qui utilise les matériaux et les systèmes les plus simples possible pour apporter à l'édifice tout le confort moderne : chauffage, ventilation, évacuation des eaux, etc. La construction solaire qui met à profit l'énergie solaire et la construction passive qui tire toute son énergie de l'environnement sont des types d'architectures bioclimatiques.

Les cinq principes majeurs du bioclimatisme sont les suivants :

- Principe 1 : L'édifice doit être parfaitement intégré dans le site.
- Principe 2 : Les matériaux de construction doivent être le plus possible tirés de l'environnement.
- Principe 3 : Le chantier doit être mené dans des conditions qui respectent la nature.
- Principe 4 : La construction doit assurer le confort et la santé de ses utilisateurs.
- Principe 5 : Elle doit encourager les économies d'énergie et l'usage énergétique raisonné.

Ces 5 principes permettent de garantir que le produit final évoluera en symbiose avec son environnement tout en assurant le confort de son utilisateur et en ayant des coûts énergétiques réguliers très réduits. Une conception de projet rigoureuse devra être mise en place pour respecter ces grands principes.²²

I.3.3.3 Les stratégies de l'architecture bioclimatique :

1. Système de chauffage solaire passif :

La stratégie de chauffage solaire passif répond au confort d'hiver. Consiste à capter la chaleur du rayonnement solaire, la stocker dans la masse, la conserver par l'isolation et la distribuer dans le bâtiment.

a. Capter :

Le captage de la chaleur consiste à collecter l'énergie solaire à travers la partie transparente de l'enveloppe et transformer en chaleur. Le rayonnement solaire reçu par un bâtiment dépend du climat et ses variations quotidiennes et saisonnières, mais aussi Ils varient selon la position relative du soleil et selon l'orientation et l'inclinaison de la paroi (Alain Liébard et André De Herde 2005).

b. Stocker :

Le captage des rayons solaires s'augmente surtout durant la journée, dont la nuit il y'aura une diminution de la température. Afin de régler ce déséquilibre entre le jour et la nuit, l'utilisation des matériaux de construction de forte inertie thermique permet de stocker l'excès de chaleur captée le jour pour la restituer durant la nuit (Mazria, E. 2005). La masse thermique permet d'atténuer les fluctuations de température selon la capacité d'accumulation de chaque matériau de construction. (Liébard, A. et De Herde, A. 2005).

c. Conserver :

Lorsqu'il s'agit d'un climat froid, toute chaleur reçue suite à un ensoleillement, d'un apport interne ou d'un système du chauffage doit être conservé. (Liébard, A. et De Herde, A. 2005). La conception de la forme, l'isolation thermique, l'étanchéité de l'enveloppe et l'échange récupération de la chaleur sont des éléments essentiels pour la conservation de la chaleur. D'autres facteurs sont nécessaires pour conserver la chaleur comme : l'organisation spatiale suivant le trajet solaire, la nature de l'enveloppe et l'utilisation des espaces tampons pour protéger la partie habitable du bâtiment. (Potin, A. et al 2004).

²² <https://www.azenco.fr/larchitecture-bioclimatique> (consulté le 20/11/2020).

d. Distribuer :

La phase finale des principes du chauffage solaire passif est de distribuer la chaleur stockée. C'est la partie la plus difficile car il s'agit de bien orienter la chaleur vers les espaces habitables. Donc, il s'agit d'utiliser les principes du rayonnement et de convection de la chaleur. (Potin, A. et al 2004). Le principe de thermo-circulation permet d'évacuer la chaleur vers le haut et la remplacer par l'air froid. La réussite de la distribution de la chaleur selon les besoins de l'utilisateur est faisable par le choix d'une ventilation forcée. (Liébard, A. et De Herde, A. 2005).

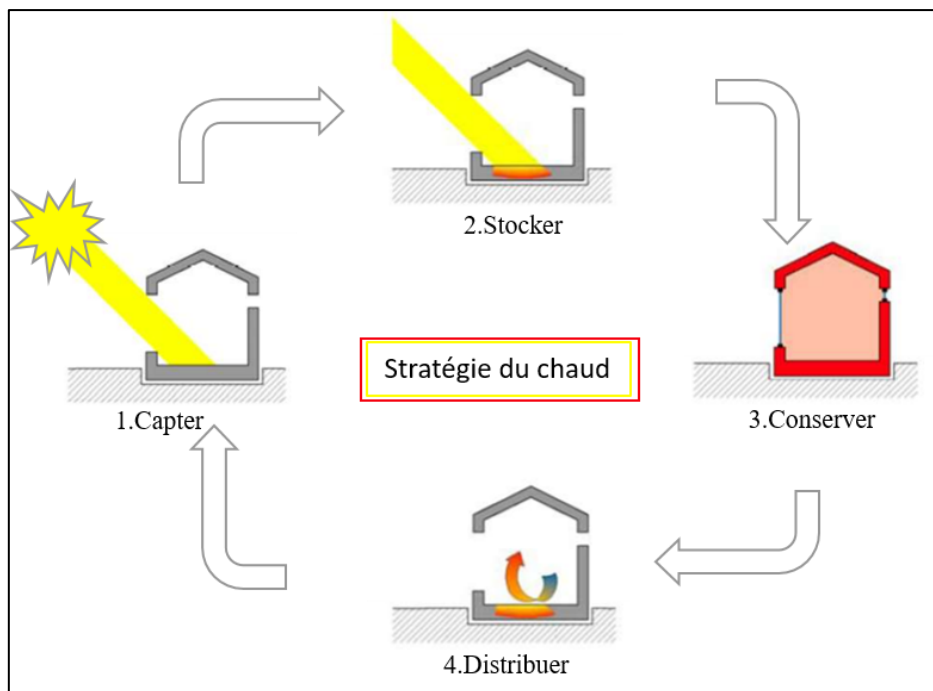


Figure I.5 : Principes du chauffage solaire passif. Source : De Herde ,2002 réadapté par l'auteur.

2. Système de refroidissement naturel :

Le confort d'été par la stratégie du froid : se protéger du rayonnement solaire et des apports de chaleur, minimiser les apports internes, dissiper les surchauffes et refroidir naturellement.

a) Se protéger :

Il s'agit de se protéger au maximum des entrées solaires par les ouvertures. -écrans permanents, amovibles ou saisonnier (végétation) situés à l'extérieur, De brise -soleils horizontaux au Sud (calculés) – Balcons, –Casquettes, – Passées de toiture – Stores à lames horizontales, De brise -soleils verticaux latéraux en direction de l'Est et l'Ouest (calculés) – Volets (gonds au Sud) – Stores verticaux situés à l'extérieur – Modénatures de façade verticales – Mais aussi des arbres, Faiblesse des ouvertures zénithales (semi - horizontales): éviter ou besoin de protection efficace.

b) Eviter :

Il s'agit d'éviter le transfert de la chaleur vers l'intérieur par les matériaux des parois opaques, par l'isolation et inertie des murs, l'isolation des toitures, la ventilation des espaces sous- toiture (inertie plutôt en dessous), la présence de végétaux sur les murs verticaux ou par des toitures végétalisées (mais aussi avec un décalage pour la ventilation de claustras, de doubles peaux) et les toitures ventilées : plus facile à travers des combles non aménagés (espace tampon), isolation en dessous.

c) Dissiper :

Il s'agit de dissiper l'air chaud qui entre dans l'habitat pendant la journée, ou l'air chaud produit par les activités à l'intérieur de l'habitat :

-Par une ventilation nocturne naturelle (l'air est plus frais que pendant la journée) : elle permet de rafraîchir les matériaux intérieurs ayant une forte inertie par absorption, leur permettant d'emmagasiner du frais la nuit et de le « rendre » la journée.

-Une ventilation transversale (traversant toute l'habitat). On peut aussi avoir une ventilation verticale et profiter d'un thermosiphon naturel (combinable avec la ventilation traversable).

d) Rafraichir :

Ventilation, y compris conduites enterré plans d'eau, fontaines, végétation.

e. Minimiser :

Les apports internes de l'habitat :

- Densité d'occupation des locaux > espace plus grands qui favorisent la circulation de l'air
- Eclairage artificiel (évolution vers ampoules qui chauffent moins) favoriser l'éclairage naturel
- Équipement électrique (présence plus importante informatique, multiplication appareillages et gadgets)
- Recherche de systèmes le plus autonomes possible (limiter la maintenance, pérenne) et le plus « passifs » possible (limiter la consommation d'énergie). Prise en compte de la consommation globale déjà dans le label passif.

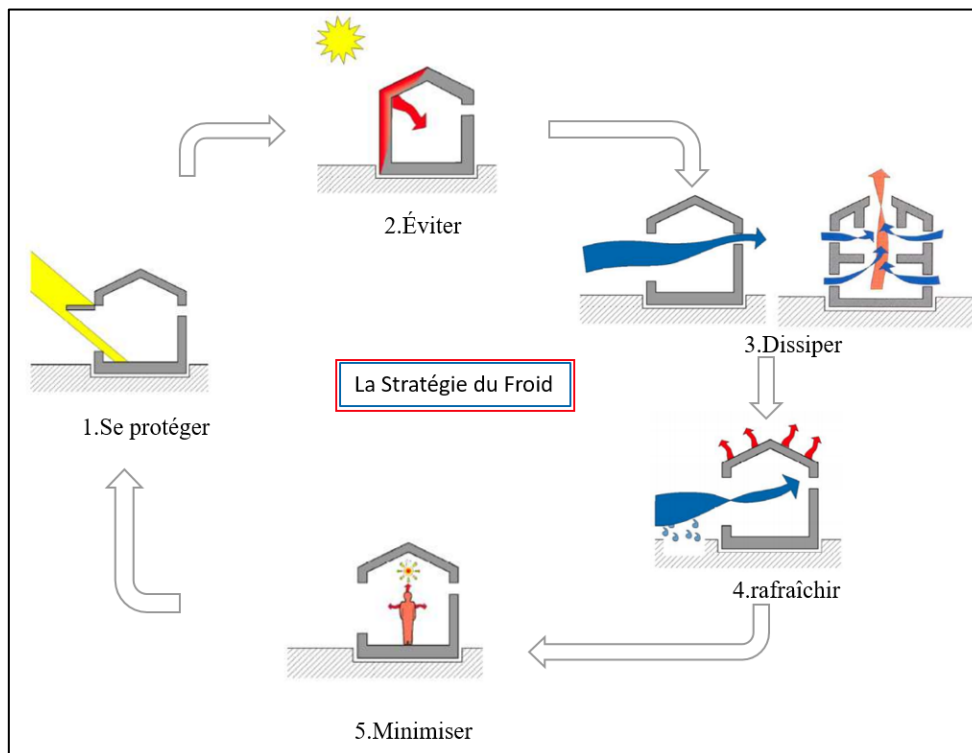


Figure I-6 Principes de Stratégie d'été refroidissement naturel.

Source : (De herde, 2002) réadapté par l'auteur.

I.3.4 Les labels et certifications :

Selon l'ISO (Organisation Internationale de Normalisation) : « la certification est une assurance écrite (sous la forme d'un certificat) donnée par une tierce partie qu'un produit, service ou système est conforme à des exigences spécifiques. ». ²³

²³ ISO, Organisation Internationale de Normalisation

La norme ISO ajoute que la certification donne confiance à toutes les parties intéressées (clients, direction...) selon les termes de cette norme, la confiance est basée sur six principes qui sont : l'impartialité, la compétence, la responsabilité, la transparence, la confidentialité et le traitement des plaintes. (IGALENS. J 2009).

Attribuer un label est un processus plus flexible par rapport à celui de la certification. Ce dernier garantit que la construction a été construite en respectant de strictes exigences en termes de performances environnementales, confort, de santé et de maîtrise d'impacts sur l'environnement. (DIONNET, D octobre 2012).

La certification donne des renseignements aux utilisateurs, ainsi qu'une information à grande valeur. En revanche, le marquage bien qu'il fournit lui aussi des informations, doit les accompagner par un regard critique pour un meilleur usage. (DIONNET, D octobre 2012).

Cette nouvelle approche a donné naissance à des labels et des certifications mondiales ou nationales, nous ne détaillerons pas dans ce mémoire les labels à haute ou très haute performance énergétique tel que les labels français (HPE ou THPE), ni les bâtiments à basse consommation (BBC) ou ceux qui incluent l'utilisation des énergies renouvelables comme ENR ou THPE ENR.

Cependant de nombreux labels sont axés sur la performance thermique, visant à réduire la consommation d'énergie liée à l'utilisation du bâtiment grâce à des solutions architecturales et techniques.

I.3.5 Réglementation algérienne liée à l'énergie :

Actuellement, selon les spécialistes, le vrai problème énergétique pour les différentes institutions de l'Algérie est un problème qui se pose en terme de choix d'une politique énergétique à long terme, d'une stratégie de valorisation des ressources, et de définition d'un modèle de consommation énergétique adéquat et qui couvre nos besoins, avant la date de l'épuisement de ces ressources stratégiques. Dans cette première sous-section on examinera les réglementations de l'efficacité énergétique et la réglementation de l'adaptation et les effets de cette dernière sur la volonté diminution de la consommation.

I.3.5.1 Quelques textes réglementaires :

De nombreuses lois, décrets, arrêtés et documents techniques ont été adoptés depuis les derniers 15 ans afin de réaliser la volonté des gouvernements algériens concernant la préservation de l'énergie et le développement des énergies renouvelables dans le secteur du bâtiment. On peut citer parmi eux les règlements suivants :

a) Textes relatifs à la maîtrise de l'énergie :

- Loi n° 99-09 du 28 juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie.
- Décret exécutif n° 2000-90 du 24 avril 2000 portant réglementation thermique dans les bâtiments neufs.
- Décret exécutif n° 04-149 du 19 mai 2004 fixant les modalités d'élaboration du programme national de maîtrise de l'énergie (PNME).

b) Textes relatifs au développement durable :

- Loi n°03-10 du 19 Juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre
- Loi n°04-09 du 14 Aout 2004 relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable.

c) Textes relatifs au fond national pour la maîtrise de l'énergie :

- Article n°91 de la loi de finances 2000 du 23 décembre 1999 portant création du compte d'affectation spéciale n° 302-101 intitulé « Fonds National pour la Maîtrise de l'énergie » et textes d'application.

d) Textes relatifs à l'APRUE :

- Décret exécutif n° 04-314 du 25 septembre 2004 modifiant et complétant le décret n° 85- 235 du 25 août 1985, modifié et complété, portant création d'une agence pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie.

e) Textes relatifs au ministère de l'habitat et de l'urbanisme :

- Arrêté ministériel du 10 décembre 1997 portant approbation du document technique réglementaire relatif à la réglementation thermique des bâtiments « règle de calcul des déperditions calorifiques » (DTR C3.2).
- Arrêté ministériel du 18 août 1998 portant approbation du document technique réglementaire relatif aux « règles de calculs des apports calorifiques des bâtiments fascicule 2, climatisation » (DTR C3.4).
- Arrêté du 14 Novembre 2005 portant approbation du document technique réglementaire DTR C 3.31 intitulé « Ventilation naturelle-locaux à usage d'habitation ».

f) Programme national de l'efficacité énergétique :

L'efficacité énergétique est appelée à jouer un rôle important dans le contexte énergétique national, caractérisé par une forte croissance de la consommation tirée, notamment, par le secteur domestique avec la construction de nouveaux logements, la réalisation d'infrastructures d'utilité publique et la relance de l'industrie. (Nouveau programme national sur l'efficacité énergétique (2016-2030) -Programme Algérien de Développement des Energies Nouvelles et Renouvelables et de l'Efficacité Energétique –page 2/4).

L'Algérie s'est engagée depuis quelques années dans une politique de transition énergétique dont l'objectif est à la fois d'assurer une sécurité énergétique en optant pour une diversification de ses ressources énergétiques et aussi d'honorer ses engagements contractuels d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre ».

Aujourd'hui, cette politique de transition énergétique se décline à travers le programme national sur l'efficacité énergétique (2015- 2030) qui permettra de réduire graduellement la croissance de la demande énergétique. Ainsi, les économies d'énergie cumulées engrangées seraient de l'ordre de 93 millions de TEP, dont 63 millions de TEP d'ici 2030 et le reste au-delà de cet horizon.

I.3.5.2 Plan d'action en matière d'efficacité énergétique :

Le programme se focalise sur les secteurs de consommation qui ont un impact significatif sur la demande d'énergie. Il s'agit principalement du bâtiment du transport et de l'industrie.

a) Pour le secteur du bâtiment :

Le programme vise à encourager la mise en œuvre de pratiques et de technologies innovantes, autour de l'isolation thermique des constructions. Des mesures adéquates seront prévues au niveau de la phase de conception architecturale des logements.

Il s'agit également de favoriser la pénétration massive des équipements et appareils performants sur le marché local, notamment les chauffe-eau solaires et les lampes économiques : l'objectif étant d'améliorer le confort intérieur des logements en utilisant moins d'énergie.

La mise en place d'une industrie locale des isolants thermiques et des équipements et appareils performants (chauffe-eau solaires ; lampes économiques) constitue l'un des atouts pour le développement de l'efficacité énergétique dans ce secteur.

Globalement, c'est plus de 30 millions de TEP qui seront économisées, d'ici 2030. (Nouveau programme national sur l'efficacité énergétique 2016-2030 Date de mise en ligne mardi 24 février 2015).

I.4 La forme de bâtiment et architecture éducatif :

L'école est une construction effective qui joue un rôle important dans la vie ; la persévérance et la réussite scolaire constituent des enjeux prioritaires, il est nécessaire de réfléchir à l'influence de l'architecture scolaire sur les missions de l'école dans le but de favoriser la réussite de tous les élèves. La conception et la réalisation de ces établissements doivent satisfaire l'opération de l'adaptation sur la consommation.

I.4.1 L'architecture scolaire en Algérie :

Par le critère distributif qui définit l'organisation des espaces et leur configuration spatiale, le guide de construction des bâtiments scolaires a déterminé deux schémas qui sont les plus récurrents dans les constructions scolaires en Algérie à savoir :

- La simple distribution (typologie de plan à coursive) :

Un nombre de classes desservis par un même palier caractérisé par de longues circulations assurées par des coursives ou des galeries. Les salles de cours prennent généralement une forme rectangulaire et présentent une double orientation. Cette typologie est la plus répandue dans les constructions scolaires en Algérie, surtout dans les écoles primaires.

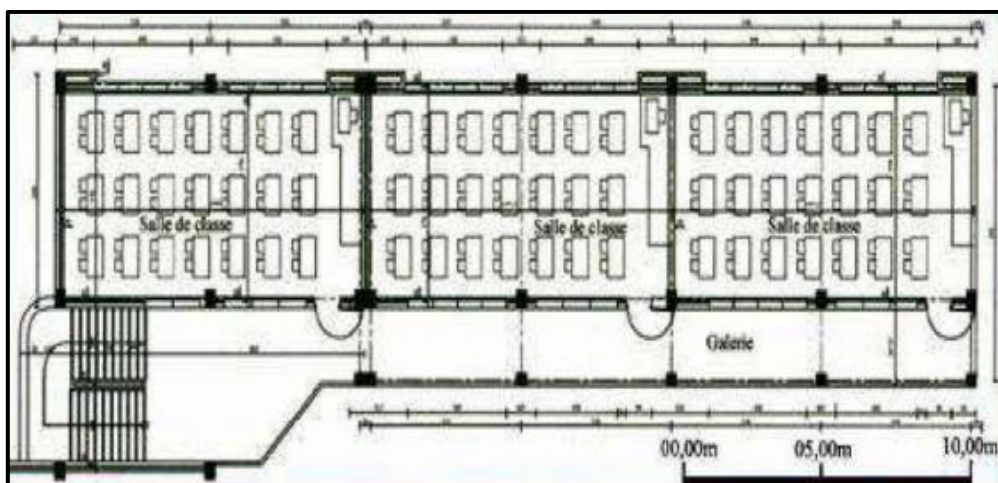


Figure I.7. Typologie de plan à coursive (simple distribution).
Source/ (Tebbouche H ,2010).

- La double distribution (typologie de plan à corridor central) :

La composition est dotée d'un couloir central linéaire (certains cas le couloir n'est pas éclairé distribuant de chaque part et d'autre des salles de cours. Ces dernières ne disposent de fenêtres que d'un seul côté. Selon le guide, cette typologie est plus flexible que la précédente solution. La double distribution s'adapte mieux aux besoins de l'école en facilitant les relations entre les différents locaux.

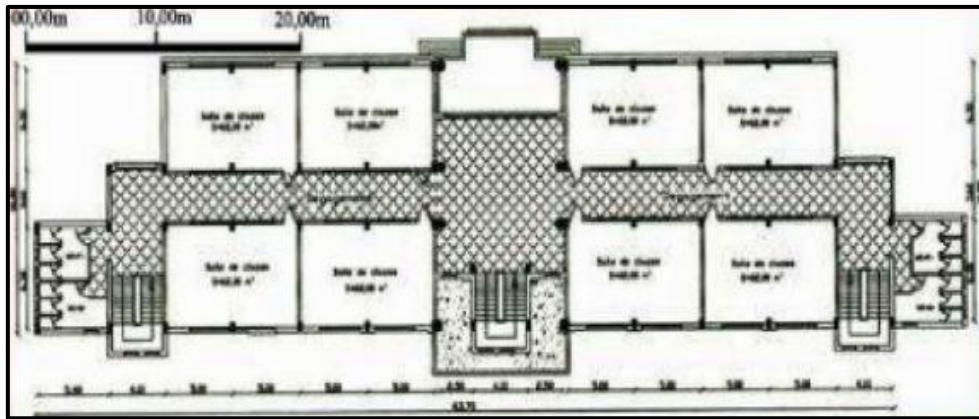


Figure I.8. Typologie de plan à corridor central (double distribution). Source : (Tebbouche H, 2010)

a. La réglementation de la construction scolaire :

Afin de mettre fin à la disparité qui caractérisait l'architecture de écoles au niveau national, en termes de configuration et de taille, Le ministère de l'Éducation nationale a élaboré trois guides définissant les programmes et normes à respecter pour la conception des bâtiments scolaires. Considéré comme le document de base depuis 1982, les directives mises en place par ces guides peuvent se résumer comme poursuite : (Ministère de l'éducation nationale, 1982).

b. Caractéristiques du bâtiment :

Les recommandations émises par le Ministère de l'Education nationale en matière de conception architecturale des établissements scolaires sont principalement les suivantes :

1. Lieu d'implantation et choix de la typologie :

Le guide des constructions scolaires conseille que le bâtiment soit construit au centre de la zone la plus peuplée. Il doit être aussi éloigné des voies à grande circulation, des sources de pollutions et de bruits afin d'assurer les meilleures conditions de sécurité et d'hygiène. Mais aussi le terrain d'implantation doit être constructible et libre de mitoyennetés. (Ministère de l'éducation nationale, 1982.).

Type	A	B	C	D
Nombre d'élèves par classe	40	40	40	40
Nombre de salles de cours	3	6	9	12
Capacité d'accueil minimum	120	240	360	480

Tableau I. 1. : typologie d'écoles selon leurs capacités d'accueil.

Source : (Ministère de l'éducation nationale, 1982).

2. La flexibilité :

La possibilité de rendre le bâtiment scolaire évolutif, de l'extension future (Seuls les types A.B.C sont susceptibles de subir une extension), la polyvalence (la conception des locaux doit permettre d'accueillir des activités diverses), les transformations intérieures (construction ou suppression des cloisons...etc.).

3. Orientation :

Au but d'assurer le confort thermique et de réduire la consommation énergétique ; les locaux d'enseignement seront orientés Nord-Sud, Toutefois, compte tenu des facteurs cités ci-dessous dont il faut prévoir des protections solaires fixes ou mobiles si le concepteur préfère les axes Sud-Est ou sud, et doit assurer une ventilation naturelle efficace.

L'orientation des bâtiments doit tenir compte :

- Des effets d'ensoleillement
- Des vents dominants, de leur force, de leurs fréquences, du fait qu'ils soient secs ou chargés d'humidité.
- De la topographie du terrain.
- De l'altitude. Des caractéristiques de la construction.
- Des dispositifs de ventilation naturelle des locaux.
- De la protection à rechercher par rapport aux sources de bruit. (MEN. 1982).

4. Hauteur des bâtiments :

Hauteur des bâtiments Pour des raisons de sécurité, facilité et bon fonctionnement, la hauteur des bâtiments ne dépassera pas 2 niveaux (R+1). Cependant, cette hauteur n'est pas limitative, elle peut dans les zones fortement urbanisées atteindre 3 niveaux (R+2).

c. Caractéristiques architecturales de la salle de classe :

Les règles générales de la conception et de l'aménagement des salles de cours selon les guides de construction des bâtiments scolaires se résument comme suit : (Ministère de l'éducation nationale, 1971, 1982).

1. Dimensions :

- Les salles de cours prennent une forme rectangulaire
- La surface modulaire de la salle de classe est estimée entre 60m² à 62m² avec une surface utile correspondante qui ne doit pas être inférieure à 56m.
- La hauteur sous plafond est en minimum 3m et ne dépassera en aucun cas 3.50m.
- La surface utile par élève est de : 1,40 m² à 1,50 m² (avec une capacité de 40 élèves/classe).

2. Ouvertures :

- Les portes : l'entrée de la salle de classe se situera de préférence sur le côté du tableau, la porte doit être pleine (2mx 0.9m), s'ouvrant vers l'extérieur.
- Les fenêtres : la surface vitrée variera selon les régions de 10 à 15 % du plancher. L'éclairage unilatéral ne peut être accepté que si la classe ne dépasse pas 7.20 m de profondeur. L'éclairage bilatéral est recommandé, il offre un meilleur éclairage, une bonne répartition de la lumière et assurée une ventilation transversale efficace. (Ministère de l'éducation nationale, 1982).

3. Revêtements :

Concernant le revêtement de sol doit être anti dérapant, étanche et résistant aux variations de températures pour la sécurité de l'enfant, Les revêtements des murs et des plafonds doivent être clairs car ils ont une influence sur les émotions des enfants et leur apprentissage.

4. Equipements :

Généralement, la salle est dotée :

- D'un tableau noir sur lequel on écrit à la craie, est fixé sur l'un des murs de la salle. Le tableau noir peut être remplacé par un tableau blanc ou un tableau papier sur lequel on écrit au feutre non indélébile et qui évite la production de la poussière de craie.
- Tables et de chaises sur lesquelles se placent les élèves, d'un bureau et d'une chaise pour l'enseignant placé face aux élèves.
- D'un ou de plusieurs meubles (armoires, casiers, bibliothèque).

5. Eclairage naturel :

L'éclairage naturel est impératif dans tous les locaux. Pour les locaux pédagogiques en organisation frontale, la source d'éclairage naturel est latérale par rapport à l'axe de vision vers le tableau.

I.4.2 L'école de demain :

Le ministère de l'Education nationale présente une grande volonté à développer le programme d'enseignement en améliorant le système éducatif, où l'école algérienne doit se moderniser et s'adapter aux nouvelles technologies tout en restant ancrée dans l'algérianité, et insistant sur l'utilisation des outils modernes d'apprentissage.

Mais l'espace scolaire reste ignoré de la part des pouvoirs publics malgré le fait qu'il constitue un élément très important du système menant à la réussite des élèves.

a) Évolution spatiale des bâtiments scolaires :

Dans ce qui suit, nous aborderons l'historique de l'architecture scolaire en Europe et les tendances actuelles de cette architecture et ses spécificités.

Au cours de l'histoire, les bâtiments et les villes ont reflété les différents courants et les enjeux de la société. Il en va de même pour l'architecture scolaire, équipement particulièrement important à partir du début du 19ème siècle, lorsque le gouvernement impose aux communes la mise à disposition d'un espace dédié pour les instituteurs (Durand et al, 2015).

1. L'école préfabriquée (type chalet) :

Dans les années 50, les caractéristiques suivantes sont souvent présentes dans les écoles : alignement des classes sur deux ou trois niveaux : les écoles peuvent compter jusqu'à 15 ou 22 classes L'utilisation de préfabriqués (type chalet) permet de limiter les coûts et de construire rapidement. Les classes sont souvent dans les étages, le rez-de-chaussée étant réservé à la cantine et au préau (Legay, Y. 2006).

2. L'écoles pavillonnaire (les écoles compartimentées avec ailes) :

Portiques et cours ouvertes furent en vogue durant les années 1950, Elles donnaient sur des cours de récréation plantées de pelouses et ombragées où l'on faisait la classe par beau temps. Les porteurs de ce mouvement sont : Le Corbusier, Tony Garnier et Alfred Roth » (Musset M. 2012). Ce dernier « recense dès les années 1950 l'importance de lier principes pédagogiques et projet architectural :

- L'enfant est sujet et non objet de l'éducation
- L'espace doit donc être à son échelle, l'architecture doit participer à la formation de l'enfant
- La flexibilité des lieux permet la variété des situations d'apprentissage : couloirs et salles de classes ne sont pas systématiques, les « unités pédagogiques » gravitent autour des lieux communs ; l'architecture doit pouvoir s'adapter aux évolutions pédagogiques
- L'école doit être en harmonie avec la nature. » (Musset M, 2012).

3. Une industrialisation de la construction des écoles :

En 1965 on assiste à une industrialisation de la construction des écoles. A cette époque il est demandé aux constructeurs de construire de plus en plus vite et de limiter les couts. C'est l'époque de la mise au point de la « trame » de 1,75m de l'éducation nationale. Cette trame correspond à la largeur d'un couloir, les salles de classes devant correspondre à une surface de cinq trames sur quatre. De plus comme la plupart des élèves devaient être droitiers, les flux de lumières se faisaient sur la gauche de la salle (Legay Y. 2006).

4. L'architecture actuelle :

En 1989, le ministère de l'éducation française publie « construire des écoles » qui est un guide de programmation fonctionnelle et données techniques. Ce document n'a pas été remis à jour depuis. Ce guide comporte des recommandations de choix du terrain, les choix de matériaux, le type et le nombre de salles... mais ces recommandations n'ont pas d'obligations légales. (Mathilde Chambier, 2018)

Pour Alastair Blyth : « la nature sociale de l'apprentissage impose de prendre en compte au moins trois aspects dans la définition des environnements d'apprentissage : l'aspect relationnel, les temps d'apprentissage et les espaces. Il montre que l'évolution continue de ces trois instances impose de chercher de nouvelles réponses architecturales, qui affectent l'établissement scolaire et sa définition.

Actuellement, les architectures scolaires doivent pouvoir changer de fonction si besoin (Musset M., 2012) : « les bâtiments publics sont conçus pour servir à de multiples usages, au service de la communauté toute entière, dans le cadre scolaire, périscolaire ou extra-scolaire (...). Les architectes doivent concevoir la réversibilité du lieu, c'est-à-dire que le changement de fonction du lieu ne doit pas affecter tout l'ensemble »

Le rapport ministériel Klein (2017) porte sur la rénovation des bâtiments scolaires existants, mais propose des critères de l'école moderne qui s'appliquent également aux nouvelles constructions : « école au bâti moderne ; école en phase avec le développement durable, école accessible aux personnes à mobilité réduite, école « sécurisée », école connectée et numérique, école modulable (aussi bien les classes que l'école en elle-même), école élaborée avec une multitude d'acteurs provenant du quartier, école ouverte et intégrée dans son environnement proposant une diversité de services. »

b) Caractéristiques de l'architecture s contemporaine :

L'espoir suscité par cette nouvelle prise de conscience par les architectes, était de voir enfin l'aspect climatique et l'enveloppe du bâtiment, reconnu et intégré comme partie intégrante dans le processus de la conception architecturale. L'intérêt du « bioclimatique » va donc du plaisir d'utiliser un espace à l'économie de l'énergie, ce qui est en fait un élément fondamental de l'art de l'architecture. Construire des bâtiments bioclimatiques, confortables, adaptés aux usagers et performants en énergie, reflète les tendances actuelles de l'architecture contemporaine. À une pédagogie axée sur la personnalisation des apprentissages, l'autonomie, les processus d'exploration et de coopération répond une organisation des espaces basée sur la variété, l'ouverture, la flexibilité et la transparence.

M. Mazalto et L Paltrinieri ont trouvé- selon de nombreux auteurs, « l'avenir des espaces scolaires est toujours à la transparence et à la flexibilité », ces deux caractéristiques alors peut réunir et satisfaire tous les besoins psychiques et physiologiques de l'élève.

1. La flexibilité :

L'architecture doit désormais favoriser la circulation et la socialisation des élèves, en variant continuellement les dimensions des espaces qu'ils sont amenés à traverser. Pour que l'utilisateur puisse investir de différentes manières le même espace, il doit faire preuve « d'agilité spatiale », c'est-à-dire qu'il doit être capable de modifier rapidement l'organisation des espaces d'apprentissage, par exemple à travers le mobilier ou les cloisons. (Maurice Mazalto y Luca Paltrinieri, Décembre 2013).

L'avenir semble donc être aux grands espaces capables d'être ré-agencés, segmentés et décroisonnés sans beaucoup d'efforts. Ce principe semble déjà organiser les constructions scolaires les plus innovantes en Australie (comme le montrent Abbasi et Blyth) et les écoles maternelles de Reggio Emilia.

2. La transparence :

L'autre principe qui semble durablement régir la construction des espaces scolaires « d'avenir », au moins depuis les années 1970, est celui de la transparence, qui bénéficie de l'apport de nouveaux matériaux. Une enquête de l'OCDE montre que les bâtiments deviennent de plus en plus transparents, à l'instar du lycée Øregård, où les salles de classes sont entièrement visibles depuis le hall grâce à leurs parois en verre. Véritable mythologie de la modernité réflexive, la transparence est censée favoriser la communication des esprits et le sentiment d'appartenance à la communauté. Mais la transparence entre les espaces permet aussi d'exercer une surveillance passive. (Maurice Mazalto et Luca Paltrinieri, Décembre 2013).

La grande diversité des bâtiments scolaires construits dans les 10 ou 15 dernières années illustre l'utilisation de schémas morphologiques et spatiaux :

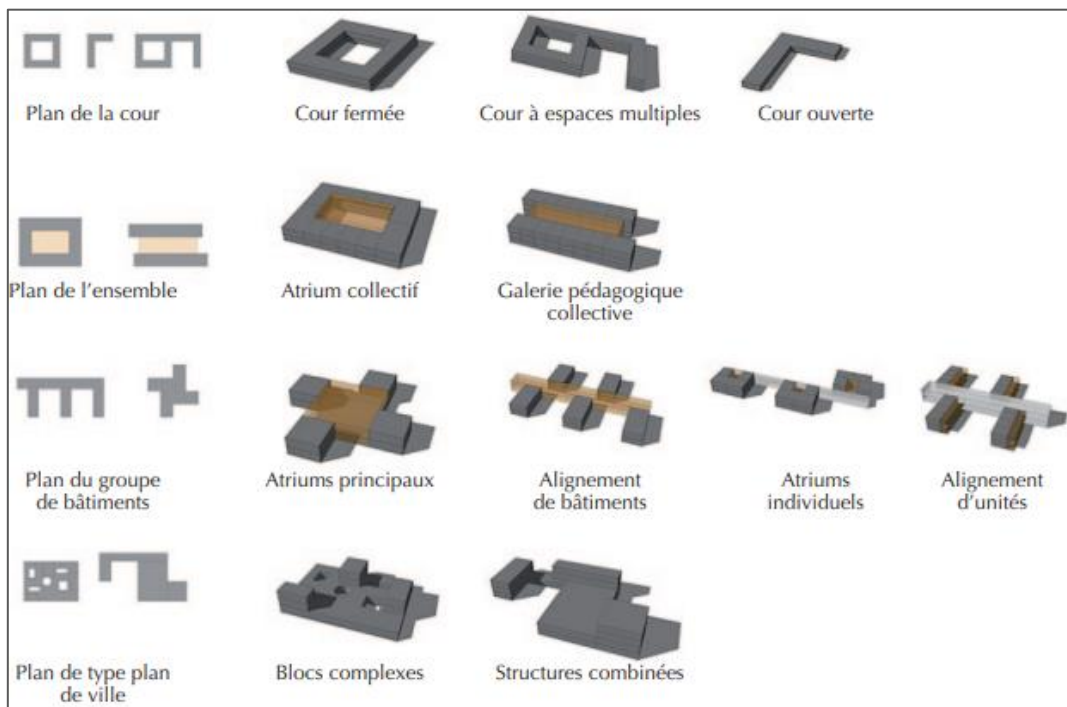


Figure I. 9 : Types de modèles conceptuels de bâtiments scolaires. Source : A. Rigolon, 2010.

1. Le type cours :

Le type cour était l'un des plus communs dans le passé et est toujours d'actualité dans les écoles qui considèrent que les espaces extérieurs sont très importants. En fait, bien qu'il existe des variations, la principale caractéristique de ce type est une zone extérieure protégée facile à surveiller et psychologiquement rassurante.

2. Le type bloc :

Le type bloc est caractérisé par des volumes compacts et une implantation intérieure simple. L'autre caractéristique majeure de ce type est un unique grand espace de socialisation menant directement aux espaces d'apprentissage principaux (salles de classe, ateliers, laboratoires).

3. Le type grappe :

La principale caractéristique du type grappe est que le bâtiment est fragmenté en différents volumes, qui peuvent représenter des unités pédagogiques indépendantes. Lorsque différents espaces allant au-delà de la simple salle de classe traditionnelle sont prévus, ces unités peuvent être considérées comme de « petites unités d'apprentissage » (PUA).

4. Le type ville :

Le type ville est caractérisé par une multiplicité d'espaces et de fonctions, d'où la métaphore de la ville. L'espace public par excellence, le « square de l'hôtel de ville », est entouré des « bâtiments » les plus importants (bibliothèque, auditorium).

Après avoir défini et décrit les principaux types de bâtiments scolaires, et comparer entre ces types on sorte que le type bloc est plus avantageux avec les spécificités suivantes :

- L'optimisation du rapport net sur brut : (Mètres carrés didactiques divisés par total des mètres carrés)

A cet égard, les bâtiments de type bloc sont les plus performants. Les types grappe et ville peuvent être très efficaces également s'ils sont conçus avec un atrium central. Les types cour ont au contraire tendance à utiliser beaucoup d'espaces de circulation, étant habituellement construits sur le schéma classique avec couloir étroit sur salles de classe.

- Densité de construction :

Les types bloc sont plus susceptibles d'être utilisés dans les zones urbaines du fait de leur encombrement compact et puisqu'ils peuvent être placés en des lieux défavorables.

- Niveaux d'éducation :

Les types bloc sont plus appropriés aux établissements d'études secondaires car leurs cursus nécessitent que des groupes d'étudiants utilisent un grand nombre d'espaces différents au cours de la journée.

I.5 Climat et la forme :

Le climat est défini comme l'ensemble de conditions atmosphériques qui prévalent dans un lieu et temps donné (Szokolay, 2008).

La conception et la réalisation des établissements éducatifs doivent satisfaire les exigences de confort en été sans climatisation, ainsi que le confort en hiver de façon à minimiser l'utilisation des éléments d'appoints. La construction et la production des bâtiments scolaires en Algérie était régie par des plans types, établies pour répondre à une demande importante d'infrastructure, et reproduits sur tout le territoire national, Sur le plan quantitatif, de grands progrès sont accomplis, mais l'aspect qualitatif et les particularités climatiques de chaque région ont été négligés.

Nous étudierons dans cette dernière sous-section avec quelques chercheurs dans le domaine qui ont étudié cette interaction depuis des dizaines d'année, bien que ce problème ne se pose jamais durant les précédents siècles, car « Chaque région, à travers son architecture locale, a réussi à créer des solutions architecturales appropriées à son climat ». (Saïd Noha 2010).

I.5.1 L'impact sur l'architecture :

L'objectif de ce mémoire entre dans le cadre de l'étude de la relation entre la performance thermique, énergétique et la forme de construction. Pour fournir des solutions énergétiques performantes.

a) Compacité et performance énergétique :

Beaucoup de publications étudient un seul paramètre géométrique : la « compacité » ou coefficient de forme. En thermique du bâtiment, la compacité se définit comme le rapport entre la somme des surfaces déprédatives (c'est-à-dire en contact avec l'extérieur, le sol ou les espaces non chauffés) et le volume chauffé du bâtiment : $C_f = S / V$ (en m^{-1}). Plus grande sera la compacité, plus petite sera la perte d'énergie par unité de volume (m^3) chauffée.

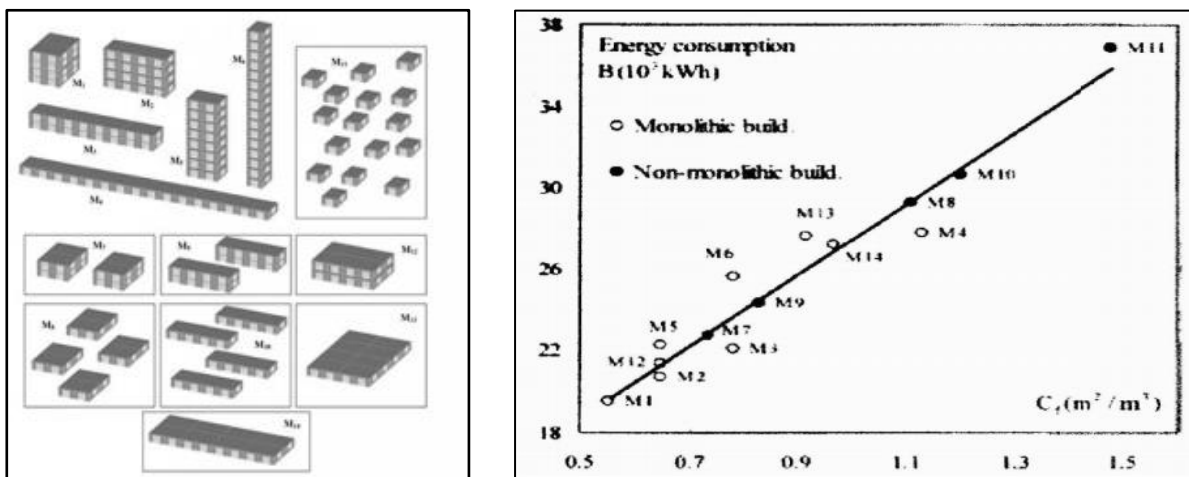
b) L'impact de la forme sur les déperditions de chaleur :

De nombreuses études ont été menées par de nombreux chercheurs Hawkes, Olgyay, Depecker et al, Besh.etc., sur l'optimisation monocritère de la forme d'un bâtiment. La plupart du temps, le critère pris en compte est la déperdition de chaleur à travers l'enveloppe.

Long Enshen a étudié les lois de variation de consommation d'énergie de deux genres de bâtiments, qui ont différents coefficients de forme, dans des conditions climatiques

complètement différentes, en utilisant 14 villes situées dans la latitude Nord entre 22° et 52°, il a abouti à la conclusion suivante : l'augmentation du coefficient de forme peut certainement augmenter le besoin de chauffage et de refroidissement annuel quelque soient les conditions climatiques (Long Enshen, 2005).

Au début des années 2000, Patrick Depecker et al. ont étudié quatorze bâtiments (ou groupements de bâtiments) conçus à partir de la même cellule élémentaire : un cube de 4,5 mètres de côté. Parmi ces configurations, se distinguent des formes « monolithiques » (dont les unités sont regroupées et forment un seul et unique volume) et des formes « non-monolithiques » (décomposées en un ou plusieurs volumes distincts). Issus d'une simulation sous le logiciel Luciole, les résultats de l'étude comparent les consommations de chauffage des bâtiments en fonction de leur compacité. Ils se présentent sous la forme de graphiques à nuages de points. La Figure II-12 présente les quatorze configurations étudiées (à gauche) et les consommations de chauffage en fonction de la compacité dans le cas du contexte climatique de Paris, Climat froid (à droite). Ces résultats mettent en évidence une relation linéaire entre la compacité et les besoins de chauffage du bâtiment : plus un bâtiment est compact, plus ses besoins de chauffage sont réduits. Pour l'essentiel, les bâtiments monolithiques sont parmi les plus compacts et les plus performants. Au contraire, les trois configurations les plus énergivores sont non-monolithiques, la moins performante étant la configuration composée de seize unités dissociées (ou seize maisons individuelles) et celle qui présente la plus forte compacité [Depecker, 2001].



Légende :

À gauche : les 14 morphologies étudiées,

À droite : Consommation de chauffage (kWh/an) en fonction de la compacité géométrique (m-1) dans un climat froid.

Figure I. 10 : Variation de consommation de chauffage en relation avec le coefficient de la forme C_r dans un climat froid, Paris. Source : [Depecker, 2001, pp.630 et 633]

P. Depecker et al concluent que le coefficient de forme C_f se justifie être une bonne représentation de la consommation d'énergie, quand le climat est plutôt rigoureux, dans ce cas, la compacité sera recherchée, mais quand le climat est doux et ensoleillé, le représentatif et la compacité peut ne plus être recommandée. D'autres paramètres tels que l'orientation, l'inclinaison et la géométrie du bâtiment pourraient améliorer probablement la relation avec la consommation d'énergie (Depecker P. et al, 2001).

Pour le climat chaud et sec, un des climats rigoureux, le paramètre de forme intervient dans la détermination de la performance thermique, et selon P. Depecker, la forme compacte est dans ce cas, recommandée.

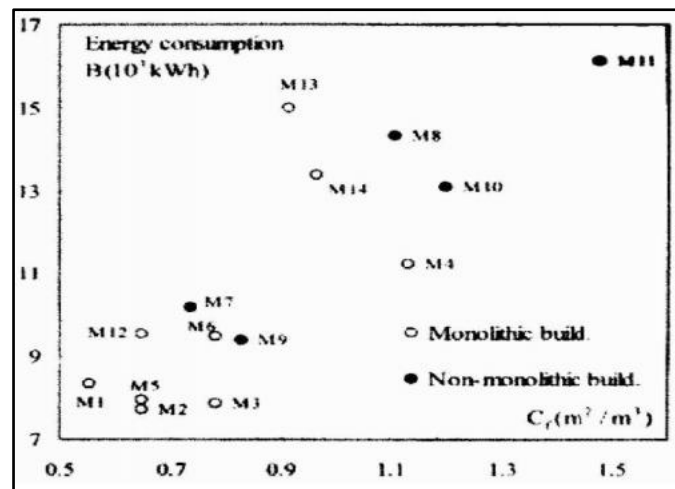


Figure I. 11 : Variation de la consommation de chauffage en relation avec le coefficient de la forme C_f dans un climat tempéré, Carpentras. Source : [Depecker Pet al, 2001, p.634]

D'autre part, ces conclusions coïncident avec les résultats de Depecker et al. (2001). Behsh (2002) a évalué la performance thermique de dix formes différentes dans un climat méditerranéen, à l'aide du logiciel DEROB-LTH, (figure 4.14) Les résultats de Behsh confirment que le choix de la forme peut affecter considérablement les conditions de confort intérieur. Cependant la compacité de la forme, dans ce type de climat, représentée par un bâtiment carré, ne serait pas la solution optimale. Au contraire, la forme rectangulaire montre une meilleure performance thermique que la forme carrée avec le même volume et la même aire.

Ses études ont montré que le rapport entre la surface d'enveloppe et le volume (S/V) n'est pas un facteur assez précis pour fournir une compréhension claire de la réponse thermique des formes complexes ; tels que : la construction à cour centrale, en forme de L ou en forme de U. Pour étudier la performance thermique Behsh suggère trois indicateurs.

		The Forms											
		211SN	s/v: 1.11	311sn	s/v: 1.05	411sn	s/v: 1.04				Relations		
		L: 24	W: 8	H: 2.5	L: 36	W: 6	H: 2.5	L: 16	W: 16	H: 2.5			
											S/V		
Baseline Case	111SN	s/v: 1.18	212SN	s/v: 1.18	313SN	s/v: 1.18	614SN	s/v: 1.13				Asw/Aww	
	48	6	H: 2.5	L: 36	W: 18	H: 2.5	L: 24	W: 18	H: 2.5	L: 18	W: 18		H: 2.5
		221SN	s/v: 0.82	231SN	s/v: 0.73	341SN	s/v: 0.7				Aroof/Aww		
		L: 24	W: 6	H: 5	L: 16	W: 6	H: 7.5	L: 12	W: 6	H: 10			

Figure I. 12. Les 10 typologies utilisées par Behsh (2002).

- La relation entre la surface d'enveloppe et le volume (V / S).
- La relation entre les surfaces orientées sud et les surfaces orientées à l'ouest (S_{sud} / S_{ouest}).
- La relation entre la surface du toit et la surface des murs (S_{toit} / S_{murs}).

Behsh a constaté également que les bâtiments ayant un faible rapport de (S_{toit} / S_{murs}) sont plus performants que ceux qui ont un grand rapport de (S_{toit} / S_{murs}). Concernant le rapport (S_{sud} / S_{ouest}), Behsh a indiqué que la forme avec une grande surface orientée sud est la plus performante, car elle est moins exposée aux rayons solaires en été et la plus exposée en hiver. (Behsh 2002).

La compacité de la forme ne serait pas la principale stratégie d'efficacité énergétique (Hawkes, 1996). Les typologies allongées seraient les plus adéquates pour le climat tempéré (Behsh, 2002).

D'une manière similaire, Dimoudi et Kostarela (2009) ont analysé le potentiel d'efficacité énergétique pour les bâtiments scolaires existants en Grèce, dans un contexte de climat tempéré. Ils recensent les types de bâtiments scolaires, mais leur but n'a pas été la comparaison de l'efficacité de chaque typologie, mais plutôt l'étude du potentiel d'efficacité énergétique dans un seul cas, soit le plus répandu et représentatif. Le bâtiment type se nomme « ATHINA », c'est un modèle d'école qui a été développé par le gouvernement Grec dès 1978 (figure II. 12). Leurs résultats montrent qu'en hiver, les stratégies d'efficacité énergétique les plus optimales sont l'isolation thermique (13,34% de réduction de la consommation d'énergie), le contrôle de l'infiltration d'air (5,97%), le type de vitrage (1,38%) et l'élimination des brise-soleils (1,63%). L'effet de ces mesures combinées atteint 28,75%. Dans le cas de l'été, une évaluation indépendante des stratégies a montré que les plus efficaces sont la ventilation nocturne

combinée avec l'isolation (99,34% de réduction), la ventilation nocturne (99,25%), et les ventilateurs de plafond (65,44%).

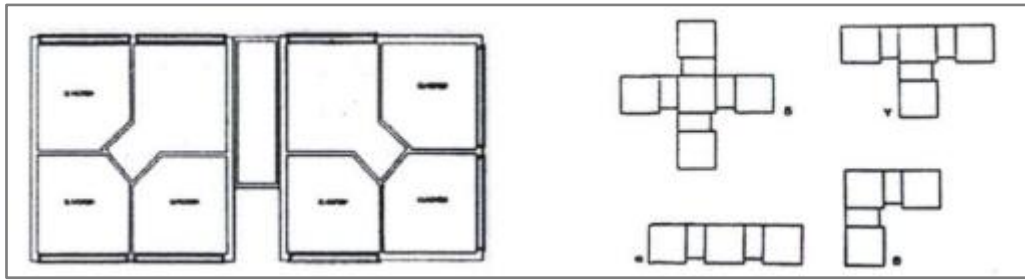


Figure I. 13. Le bâtiment scolaire type « ATHINA » et ses configurations les plus communes.
Source : Dimoudi et Kostarela (2009).

I.5.2 Recommandations liées aux climats :

Les tables de MAHONEY sont des recommandations de constructions (typologie de plan, type de matériaux, de structures etc.) en fonctions des données climatiques renseignées du projet. Elles ont été développées par les architectes Carl Mahoney, John Martin Evans et Otto Königsberger et publiées en 1971 dans (United Nations et al., 1971). C'est une assistance orientée vers le confort thermique. Elle permet notamment d'aider le concepteur dans la formulation des problèmes environnementaux liés au contexte climatique. En proposant des recommandations, elle guide la formulation de la proposition primaire du projet. Dans les tableaux récapitulatifs des fiches correspondantes, il utilise des indicateurs qui signalent :

- H1 : Ventilation essentielle.
- H2 : ventilation désirable.
- H3 : protection contre la pluie.
- A1 : stockage thermique.
- A2 : Dormir dehors.
- A3 : saisons froides.

Chaque table indique des recommandations liées à un climat, Ces préconisations ont trait aux caractéristiques du bâtiment et sont regroupées en 8 catégories comprenant, pour chacune d'entre elles, différentes caractéristiques.

a) L'insertion dans le climat équatorial :

Le climat équatorial est constamment chaud et humide, Les températures se situent entre 24° et 32°C, le taux d'humidité entre 70 et 90 p. 100, les précipitations entre 1 500 et 2 500 mm/an, parfois beaucoup plus dans certaines régions.

En climat équatorial, la conception du bâtiment doit favoriser la circulation de l'air et éviter l'accumulation de la chaleur. Les espaces de vie intérieur et extérieur seront abrités des pluies, et le bâtiment protégé des insectes.

INDICATEURS						RECOMMANDATIONS
H1	H2	H3	A1	A2	A3	
						Plan masse
			+			1.Orientation suivant un axe longitudinal E-O
						2.Plan compact avec cours intérieure
						Espacements
+						3.Grands espacements entre les bâtiments
						4.Idem avec protection contre le vent
						plan compact
						Circulation d'air
						6. circulation d'air permanente
						7. circulation d'air intermittente
						8. circulation d'air inutile
						Ouvertures
			+		+	9. grandes ouvertures des façades N et S
						10. très petites ouvertures (10 à 20 %)
						11. ouvertures moyennes (20 à 40 %)
						Murs
			+			12. murs légers
						12. Murs massifs
						Toitures
			+			14. Toitures légères et isolantes
						15. Toitures lourdes
						Sommeil en plein air
						16.Sommeil en plein air
						Protection contre la pluie
		+				17.Protection contre la pluie

Tableau I. 2: La table de recommandations pour le climat de Belem (Bresil).

Source : A. Liébard et A. De Herde, 2005.

b) L'insertion dans le climat de mousson :

En climat tropical de mousson, la conception du bâtiment doit proposer une protection aux températures extrêmes et permettre la ventilation durant la saison humide.

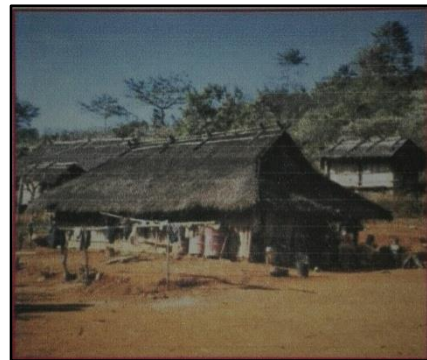


Figure I. 14: Village traditionnel (Laos),
Source: A. Liébard et A. De Herde, 2005.

INDICATEURS						RECOMMANDATIONS
H1	H2	H3	A1	A2	A3	
						Plan masse
			+			1. Orientation suivant un axe longitudinal E-O
						2. Plan compact avec cours intérieure
						Espacements
						3. Grands espacements entre les bâtiments
+						4. Idem avec protection contre le vent
						5. plan compact
						6. circulation d'air permanente
			+			7. circulation d'air intermittente
						8. circulation d'air inutile
						Ouvertures
						9. grandes ouvertures des façades N et S
						10. très petites ouvertures (10 à 20 %)
						11. ouvertures moyennes (20 à 40 %)
						Murs
						12. murs légers
			+			13. Murs massifs
						Toitures
						14. Toitures légères et isolantes

			+			15. Toitures lourdes
						Sommeil en plein air
				+		16.Sommeil en plein air
						Protection contre la pluie
		+				17.Protection contre la pluie

Tbaleau I.3 :la table de recommandation pour le climat de New Delhi (Inde).

Source: A. Liébard et A. De Herde, 2005.

c) L'insertion dans le climat tropical sec :

En climat tropical sec, les différences de températures journalières obligent à une conception basée sur l'inertie thermique. L'isolation thermique est assurée au niveau de la toiture.



Figure I. 15 : Tapisserie représentant diverses activités en zone tropical sèche ,
Source : A. Liébard et A. De Herde, 2005.

INDICATEURS						RECOMMANDATIONS
H1	H2	H3	A1	A2	A3	
						Plan masse
			+			1.Orientation suivant un axe longitudinal E-O
						2.Plan compact avec cours intérieure
						Espacements
						3.Grands espacements entre les bâtiments
						4.Idem avec protection contre le vent
						5.plan compact
						Circulation d'air
						6. circulation d'air permanente
			+			7. circulation d'air intermittente
						8. circulation d'air inutile
						Ouvertures
						9. grandes ouvertures des façades N et S
						10. très petites ouvertures (10 à 20 %)

			+			11. ouvertures moyennes (20 à 40 %)
						Murs
						12. murs légers
			+			13. Murs massifs
						Toitures
			+			14. Toitures légères et isolantes
						15. Toitures lourdes
						Sommeil en plein air
						16.Sommeil en plein air
						Protection contre la pluie
						17.Protection contre la pluie

Tableau I. 4: La table de recommandations pour le climat de Bamako (Mali).

Source: A. Liebard et A. De Herde, 2005.

d) L'insertion dans le climat désertique :

En climat désertique, les bâtiments peuvent être disposés en groupes compacts autour de cours intérieures ombragées. La massivité des murs et de la toiture assure l'inertie thermique.



Figure I. 16 : Ville de la vallée du M'Zab (Sahara algérien).

Source : A. Liébard et A. De Herde, 2005

INDICATEURS						RECOMMANDATIONS
H1	H2	H3	A1	A2	A3	
						Plan masse
						1.Orientation suivant un axe longitudinal E-O
			+		+	2.Plan compact avec cours intérieure
						Espacements
						3.Grands espacements entre les bâtiments
						4.Idem avec protection contre le vent
+						5.plan compact
						Circulation d'air

						6. circulation d'air permanente
						7. circulation d'air intermittente
						8. circulation d'air inutile
						Ouvertures
						9. grandes ouvertures des façades N et S
						10. très petites ouvertures (10 à 20 %)
				+		11. ouvertures moyennes (20 à 40 %)
						Murs
						12. murs légers
			+			13. Murs massifs
						Toitures
						14. Toitures légères et isolantes
			+			15. Toitures lourdes
						Sommeil en plein air
				+		16. Sommeil en plein air
						Protection contre la pluie
						17. Protection contre la pluie

Tableau I. 5 : La table de recommandations pour le climat de Bagdad (Irak)

e) **L'insertion dans le climat d'altitude :**

Dans un climat chaud d'altitude, il y'a lieu d'orienter les bâtiments suivant un grand axe est-ouest, de prévoir des murs massifs et des toitures lourdes ainsi qu'une circulation d'air pendant les périodes de forte humidité.



Figure I. 17: Estate à Harare (Zimbabwe) (arch. M.L. Peace.)
Source: A. Liébard et A. De Herde, 2005.

INDICATEURS						RECOMMANDATIONS
H1	H2	H3	A1	A2	A3	
						Plan masse
			+			1.Orientation suivant un axe longitudinal E-O
						2.Plan compact avec cours intérieure
						Espacements
						3.Grands espacements entre les bâtiments
						4.Idem avec protection contre le vent
+						5.plan compact
						Circulation d'air
						6. circulation d'air permanente
+	+					7. circulation d'air intermittente
						8. circulation d'air inutile
						Ouvertures
						9. grandes ouvertures des façades N et S
						10. très petites ouvertures (10 à 20 %)
+			+			11. ouvertures moyennes (20 à 40 %)
						Murs
						12. murs légers
			+			13. Murs massifs
						Toitures
						14. Toitures légères et isolantes
			+			15. Toitures lourdes
						Sommeil en plein air

						16.Sommeil en plein air
						Protection contre la pluie
						17.Protection contre la pluie

Tableau I. 6 : La table de recommandations pour le climat de Nairobi (Kenya).

Source: A. Liebard et A. De Herde, 2005.

f) L'insertion dans le climat méditerranéen

En climat méditerranéen, l'étude du plan-masse et le dimensionnement des ouvertures permettent d'optimiser la circulation de l'air. Les couleurs claires en revêtement de façade renforcent la protection solaire.



Figure I. 18 : Première maison solaire passive française en méditerranée (arch.M.erber) .

Source : A. Liébard et A. De Herde, 2005.

INDICATEURS						RECOMMANDATIONS
H1	H2	H3	A1	A2	A3	
						Plan masse
			+			1.Orientation suivant un axe longitudinal E-O
						2.Plan compact avec cours intérieure
						Espacements
						3.Grands espacements entre les bâtiments
+						4.Idem avec protection contre le vent
						5. plan compact
						Circulation d'air
+						6. circulation d'air permanente
						7. circulation d'air intermittente
						8. circulation d'air inutile

						Ouvertures
						9. grandes ouvertures des façades N et S
						10. très petites ouvertures (10 à 20 %)
						11. ouvertures moyennes (20 à 40 %)
						Murs
						12. murs légers
			+			13. Murs massifs
						Toitures
						14. Toitures légères et isolantes
			+			15. Toitures lourdes
						Sommeil en plein air
				+		16. Sommeil en plein air
						Protection contre la pluie
		+				17. Protection contre la pluie

Tableau I. 7 : La table de recommandations pour le climat de Tel-Aviv(Palestine occupé).

Source: A. Liebard et A. De Herde, 2005.

I.6 Analyses des exemples :

- Exemple 01 : Lycée Kyoto à Poitiers : **le 1er lycée d'Europe à zéro énergie fossile.**
(Climat tempéré méditerranéen)

Dans le cadre de sa politique de réduction des émissions de gaz à effet de serre, la région Poitou-Charente a prévu d'inaugurer le 1er lycée 100% énergies propres d'Europe à Poitiers en 2009, un lycée qui n'utilisera aucune énergie fossile pour son chauffage et son électricité, dans le quartier Saint-Eloi. Derrière ce slogan se cache un projet qui se veut exemplaire en termes d'efficacité énergétiques, d'éco-construction et d'intégration paysagère. À l'heure où le baril de pétrole flambe, le lycée Kyoto apparaît de plus en plus comme l'exemple à suivre sur le plan de l'utilisation des énergies renouvelables et locales. Conçu par le cabinet d'architectes SCAU (Société de Conception d'Architecture et d'Urbanisme) a relevé le défi d'équiper ce lycée de matériaux, équipements et technologies moins énergivores et plus respectueux de l'environnement., en partenariat avec le bureau d'études Technip TPS et la société d'ingénierie environnementale CERDE, l'établissement de 16.500 m² accueillera 500 élèves et apprentis des filières agricole et hôtelière.



Figure I.19. Le lycée Kyoto à Poitiers. Source : <https://www.construction21.org/france/case-studies/h/lycee-kyoto-a-poitiers.html>

L'établissement est organisé autour de plusieurs bâtiments : le bâtiment principal regroupant les salles de cours et les lieux de vie (bibliothèque, foyer des élèves, cantines, espace multimedia), les ateliers pour les travaux pratiques, les logements de fonction et l'internat.

Pour s'affranchir des énergies fossiles, les concepteurs du lycée ont cherché avant tout à réduire les besoins énergétiques des bâtiments. Deux volets principaux :

- La partie passive : (récupération d'énergie)

La conception de bâtiment le mal déperditions possibles sont liés à l'enveloppe la conception architecturale et l'isolation de façades, toitures terrasses végétalisées, l'inertie thermique a également été recherchée par la limitation des faux-plafonds et par la mise en place de plusieurs cloisons lourdes en béton.



Fig. I.20. Toitures terrasses végétalisées de Lycée Kyoto.

Source : <https://www.construction21.org/france/case-studies/h/lycee-kyoto-a-poitiers.html>



Fig I.21 Cloisons lourdes en béton (Inertie thermique) et enveloppe isolée de lycée Kyoto.

Source : <https://www.construction21.org/france/case-studies/h/lycee-kyoto-a-poitiers.html>

Ils ont pour cela privilégié le bioclimatisme avec gestion des apports solaires pour en bénéficier l'hiver et s'en protéger l'été et maximisation de l'éclairage naturel. Pour cela, les concepteurs prévoient la réalisation d'un atrium vitré et végétalisé qui constituera le cœur du bâtiment principal et réglera la température des lieux de vie attenants été comme hiver. Sur le passif il y'a un récupération d'énergie aussi, récupérer la chaleur déguiser par les hautes des cuisines et ainsi la chaleur dégager par les occupants des salles. La problématique du confort d'été a été la plus difficile à résoudre, nous avons donc énormément travaillé sur la conciliation entre apport de lumière naturelle et protection solaire contre l'échauffement, explique François Gillard, architecte du cabinet SCAU. Pour limiter les déperditions énergétiques en hiver, l'enveloppe des bâtiments a été plus isolée que ce que n'exige la réglementation thermique 2005 (RT2005).



Fig.I.22. Panneaux photovoltaïques en toiture de lycée Kyoto .

Source : <https://www.construction21.org/france/case-studies/h/lycee-kyoto-a-poitiers.html>



Fig.I.23. Atrium emblématique (confort d'été et éclairage naturel), Lycée Kyoto.

Source : <https://www.construction21.org/france/case-studies/h/lycee-kyoto-a-poitiers.html>

- **La partie active** (production d'énergie) :

Utiliser la chaleur produite par l'usine d'assainissement d'ordures qui produit une chaleur perdue, l'idée était de stocker cette chaleur dans une cuve de stockage intersaisonnier au cœur de lycée (la production UIOM d'été), une mille mètre cube d'eau qui est chauffée par l'usine d'assainissement et ensuite cette chaleur est restituée en hiver pour chauffer les besoins de lycée pour boucler la fin de l'hiver, le besoin encore d'un peu de chaud, il est assuré par une cogénération alimentaire huile végétale pure pour recharger la cuve qui produit du chaud mais aussi d'électricité. D'autre part ce qui reste à produire en électricité est repris par les panneaux photovoltaïques en toitures de bâtiments.

Eclairage naturel :

Niveau d'isolation :

Poste	FJ% ¹
Salle de classe et de vie scolaire	2
Bureau	2,5
Circulation et sanitaire	0,5

Confort thermique d'été :

Protections solaires :

- Volets persiennes en mélèze ou douglas
- Brise-soleil orientables et motorisés
- Stores en toile vertical, stores horizontaux.

Poste	Inconfort ²
Salle de classe	<10 heures
CDI	<3 heures

Economie d'énergie :

	Descriptif	U en W/m ² .K
Murs	-	0,19
Toiture	20cm	0,19
Menuiserie extérieure	Bois	Uw=1,5
Menuiserie extérieure CDI et atrium	Aluminium avec rupteurs de ponts thermiques	Uw=2
Vitrage	Double vitrage +double verre IR +argon	1,10
U _{bat}	-	0,45

Synthèse énergétique :

- Ventilation double flux avec récupération à 70%.
- Ventilation naturelle de mai septembre.
- Ventilation nocturne.
- Eclairage : tubes fluorescents, ballasts électroniques pilotés par cellule photoélectrique et détection de présence.

- Deux cogénérations à huiles végétales dont une de secours.
- 846 m² de panneaux photovoltaïques.
- Raccordement sur réseau de chaleur UIOM avec cuve de stockage intersaisonnier de 1000m³.

Consommations :

Production (KWh/m²SDO.an) :

Poste	Consommations en kWh/m ² SDO.an	Consommations en kWh _{EP} /m ² SDO.an
Chauffage	18	18
ECS	8	8
Eclairage	5,3	13,6
Pompe à circulation	2,4	6
Confort d'été	5	13
Total	38,7	64,7

Poste	Chaud	Electricité
UIOM	5,5	-
Cogénération	25	14
Photovoltaïque	-	7,3
Réseau	-	3,7

Espaces extérieurs :

Gestion des eaux pluviales :

- Récupération des eaux pluviales pour les WC et l'arrosage.

Ecosystèmes vivants :

- Boisement au nord-est, nord-ouest et sud-ouest de la parcelle.
- Palmiers dans l'atrium.
- Noues fleuries, plantes aromatiques, bambous, arbres à kaki, arbres à caramel, noyers, pins fleuries.

Matériaux et principes de construction :

Ossature	Semelles isolées Béton armé Poteaux poutres Charpente métallique
Façade	Pierre sèche de provenance locale Bardage bois mélèze
Toiture	Acier galvanisé pré laqué Toiture végétalisée
VRD	Dalles végétalisées soprature
Menuiserie extérieure	Mélèze ou douglas
Vitrage	16 mm argon Peu émissif
Revêtement de sol	Linoléum Moquette Revêtement couléen caoutchouc
Isolation	Laine minérale 20cm
Peinture	Laque acrylique en phase aqueuse

- **Exemple 02 : L'école primaire de la Grande-Hermine :**
La certification LEED de l'école primaire à Québec, la première du genre dans le réseau scolaire québécois.

Située dans l'arrondissement de La Cité-Limoilou, l'école de la Grande-Hermine accueille 350 élèves et offre un milieu de vie qui se caractérise par son dynamisme, sa diversité culturelle et son ouverture à la communauté. Elle compte deux groupes de maternelle 4 ans à de mi-temps. Premier établissement d'enseignement primaire accrédité LEED au Québec et aussi le premier édifice à arborer cette étiquette verte dans la Vieille Capitale, il offre un environnement moderne conçu selon des principes de développement durable. Le Conseil du bâtiment durable du Canada (CBDCa) lui a délivré cette attestation de niveau Certifié le 18 septembre 2008, après qu'il eut accueilli favorablement 30 des 38 crédits soumis à son examen cinq mois plus tôt.



Figure I.24. Vue générale de l'école primaire de la Grande-Hermine.
Source : <https://www.cscapitale.qc.ca/ecole/ecole-de-la-grande-hermine/>

Le bâtiment couvre à peu de choses près une superficie de 3 600 mètres carrés. L'espace est réparti dans trois volumes qui, regroupés autour d'un atrium, comptent trois, deux et un planchers. Les fonctions de ces trois grands blocs en brique se lisent distinctement par leur couleur : l'un, orange vif, intègre les aires administratives et communautaires, en plus de servir en quelque sorte de perchoir pour la bibliothèque donnant vue sur le toit végétal à l'entrée de l'école ; les deux autres sont de couleurs charbon et beige et logent respectivement les classes et le gymnase.

- **Déconstruire pour bâtir :**

Avant de bâtir la nouvelle école, il a d'abord fallu déconstruire celle (Saint-François-d'Assise) qui se trouvait sur le site, En plus de l'imposant volume de débris dirigés vers des filières de recyclage et de valorisation, certains matériaux ont aussi été réintroduits dans la nouvelle construction. Comme de la pierre qui a été intégrée à l'aménagement paysager. Ou, encore, de

la brique qui a servi à constituer un mur signalétique dans le hall d'entrée de la nouvelle école. La gestion des matières résiduelles lors la construction n'est pas demeurée en reste, alors que pas moins de 88 % des débris ont pu trouver une seconde vie utile après avoir été dirigés vers un centre de tri, rapports de disposition à l'appui.



Fig. I.25. L'atrium de la Grande-Hermine.
Source : <https://projetsverts.voirvert.ca/projets/ecole-primaire-de-la-grande-hermine>,
Réadapté par l'auteur.



Fig. I.26. Toitures terrasses végétalisées de la Grande Hermine. Source : <https://projetsverts.voirvert.ca/projets/ecole-primaire-de-la-grande-hermine>, réadapté par l'auteur.

- **Les stratégies écologiques :**

les autres stratégies écologiques appliquées dans la foulée de ce projet figurent notamment le respect de la végétalisation existante, la mise en place d'une toiture blanche certifiée « Energy Star » et d'un toit végétal, une orientation des classes dans un axe sud-ouest pour contrer les gains thermiques et éviter l'éblouissement, une fenestration à haute performance, une enveloppe extérieure à valeur isolante optimisée ainsi que la formation et la présentation des processus environnementaux aux ouvriers.

Soulignons aussi que l'équipe de projet a mis l'accent sur l'utilisation de matériaux à haute teneur en matières recyclées. Et qu'elle a réussi à intégrer dans le nouveau bâtiment des matériaux de provenance régionale dans une proportion de 40 %.

- **Crédits LEED :**

Critères d'évaluation	Points
Aménagement écologique des sites	6
Gestion efficace de l'eau	2
Énergie et atmosphère	4
Matériaux et ressources	6
Qualité des environnements intérieurs	9
Innovation et processus de design	3
Total	30

Tableau I.8 les critères d'évaluation LEED de l'école primaire de la Grande-Hermine.
Source : <https://www.voirvert.ca/projets/projet-etude/1%E2%80%99ecole-primaire-de-la-grande-hermine#Equipe>

- **Mesures durables :**

- Les finis intérieurs ont été sélectionnés pour l'amélioration de la qualité de l'air, incluant l'utilisation de peintures à faible teneur en composés organiques volatils pour l'ensemble de l'école, calfeutrant, tapis et ameublement en bois sans urée formaldéhyde.
- Durant les travaux de construction, des mesures de prévention ont été utilisées pour éviter la contamination des systèmes de ventilation par l'obturation des bouches des conduits, ce qui réduit les risques de problèmes respiratoires pour les occupants.
- L'école possède aussi un programme de recyclage et de covoiturage actif.

- **En chiffres :**

- 98 % des débris de déconstruction recyclés ou valorisés.
- 88 % des déchets de construction détournés de l'enfouissement.
- 40 % de réduction de la consommation énergétique.
- 40 % des matériaux de provenance régionale.

- **Optimisation de la performance énergétique :**

Le bâtiment est doté d'un bon nombre de mesures d'efficacité énergétique :

- Récupérateur de chaleur à haute efficacité sur deux systèmes de ventilation.
- Chaudière au gaz naturel avec rendement supérieur.
- Puissance d'éclairage inférieure au cas de référence.
- Ventilation efficace.
- Détecteurs d'occupation et de luminosité pour l'éclairage.
- Murs, toits et fenêtres plus performantes que le cas de référence.

Entraînement des pompes à fréquence variable.

I.7 Synthèse :

Il est universellement admis aujourd'hui que l'amélioration du rendement de tout système éducatif, passe par une prise en charge sérieuse, concrète et vigoureuse. Dans ce cadre, les conditions de vie et de scolarisation dans les établissements scolaires constituent un élément déterminant de la réussite scolaire de toute stratégie d'apprentissage. Si elles sont de bonne qualité, elles peuvent contribuer à l'amélioration des résultats scolaires et à l'efficacité des politiques éducatives en général. Autrement, le processus éducatif peut être compromis si les espaces qui lui sont consacrés, sont mal conçus et mal entretenus.

Les différentes études et autres analyses que nous avons développées dans ce chapitre, font apparaître la pertinence des paramètres environnementaux dans la conception architecturale moderne des établissements éducatifs elles nous permettent également de tirer les observations et les conclusions suivantes :

- L'architecture des établissements éducatifs est en perpétuelle évolution. Les nouvelles recherches en la matière, visent à concevoir des infrastructures éducatives beaucoup plus confortables, saines et souples, facilement adaptable aux nouvelles exigences et méthodes pédagogiques d'enseignement.
- La forme la plus adéquate à l'apprentissage celle qui assure les exigences instructives et favorise le confort et le bien-être de l'enfant ainsi que la forme la plus performante énergétiquement.
- La compacité de la forme ne serait pas la principale stratégie d'efficacité énergétique (Hawkes, 1996). Les typologies allongées seraient les plus adéquates pour le climat tempéré (Behsh, 2002).

CHAPITRE II : Cas d'étude : Simulations numériques et résultats

Première Section : Méthodologie

II.1 Introduction :

Cette recherche s'intéresse à la performance énergétique des formes des bâtiments scolaires dans le contexte de climat méditerranéen tempéré à la commune de Bordj el Bahri de la wilaya d'Alger. Une comparaison de consommation sera effectuée entre le modèle du plan type du ministère et autres modèles que l'on va choisir afin de vérifier le modèle le plus adéquat énergétiquement pour notre région. Le choix de type de modèle s'est fait à la base d'une étude de l'architecture scolaire en Algérie et en Europe ainsi qu'à l'importance du plan compact étudié dans le deuxième chapitre.

L'investigation méthodologique se fera à l'aide d'un logiciel de simulation thermique dynamique nommé « ECO Designer STAR », qui est intégré à « ArchiCAD » et qui constitue un puissant moteur d'évaluation énergétique. Nous terminons le chapitre par une interprétation des résultats obtenus et quelques recommandations.

II.2 Méthodologie de travail :

Nous allons commencer par une définition de différentes caractéristiques environnementales de la région et les données climatiques afin de définir l'environnement du projet lors de la simulation et l'estimation de besoins énergétiques. Afin d'atteindre notre but nous étudierons le cas d'étude précisément la salle de classe, ensuite nous proposerons une forme avec les mêmes caractéristiques qualitatifs et quantitatifs de cas d'étude qui sont l'une des données de base pour la simulation, et à la fin on présentera l'outil de simulations ainsi que les avantages et inconvénients de ce dernier.

II.2.1 Présentation et situation géographique de la commune de Bordj El Bahri :

Bordj El Bahri est une commune de la wilaya d'Alger, située dans la banlieue Est d'Alger à environ 20 km à l'est d'Alger, sur la rive Est de la baie d'Alger,²⁴ Autour du centre-ville s'articulent principalement les quartiers de : La Cigogne, Alger Plage, les Ondines et le Chemin des Ruines, sur la côte, Kahouet ech'chergui (Café Chergui), Hai-Galloul et la brise marine.

²⁴ Journal officiel de la République Algérienne du 19/12/1984, page 1558, délimitation du territoire de la commune de Bordj El Bahri.

Chapitre II : Cas d'étude, simulation numérique et résultats

La commune s'étend sur une superficie de 7,5 km² et porte 1,67% de la population de la wilaya avec 52 816 hab selon le recensement de 2008, et une densité moyenne de 7 042 hab./km² et 13 mètre d'altitude.

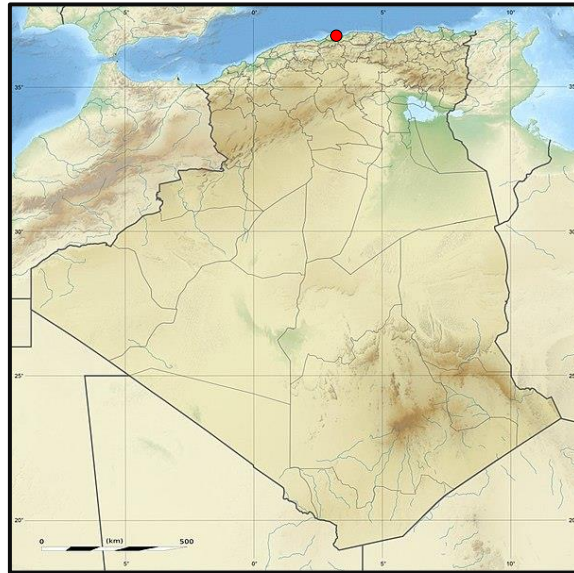


Figure II.1 Situation géographique de la commune de Bordj El Bahri à l'échelle nationale.
Source : Algeria_relief_location_map.jpg consulté le 05-02-2021, réadapté par l'auteur.

a. Contexte local du site :

La commune de Bordj El Bahri est délimitée par :

Le Nord et le Nord-Ouest : la commune d'El Marsa.

L'Est et le Nord Est : la commune de Ain Taya.

L'Ouest : la mer Méditerranée.

Le Sud et le Sud-Ouest : La commune de Bordj El Kiffan.

Le Sud Est : La commune de Rouïba et foret de Bordj El Kiffan.

II.2.2 Les données climatiques :

Notre site se situe dans la zone A, zone littorale qui subit l'influence de la proximité de la mer, Bordj el Bahri possède un climat méditerranéen chaud avec été sec et chaud (Csa) mais avec hiver doux et pluvieux selon la classification de Köppen-Geiger.²⁵

Les diagrammes météorologiques de meteoblue sont basés sur 30 ans de simulations de chaque heure des modèles météorologiques et sont disponibles pour chaque lieu sur Terre. Ils donnent une bonne indication des tendances météorologiques typiques et conditions prévues (température, précipitations, rayonnement solaire et vent). (Météo bleu, climat d'Alger.)

²⁵ Station météorologique de Dar-El-Beida

Chapitre II : Cas d'étude, simulation numérique et résultats

a. Températures °C :

Au mois d'août, la température moyenne est de 25.6°C. Août est de ce fait le mois le plus chaud de l'année. Janvier est le mois le plus froid de l'année. La température moyenne est de 10.6°C à cette période. Sur l'année, la température moyenne à Bordj el Bahri est de 17.5°C. On constate que l'écart de température entre le jour et la nuit est relativement élevé pendant l'été (+11°C), et il arrive à son maximum (12°C) en Octobre.



Figure II.2 : les températures mensuelles en C° de Bordj El Bahri.

Source : station météorologique de Dar-El-Beida.

b. Les vents :

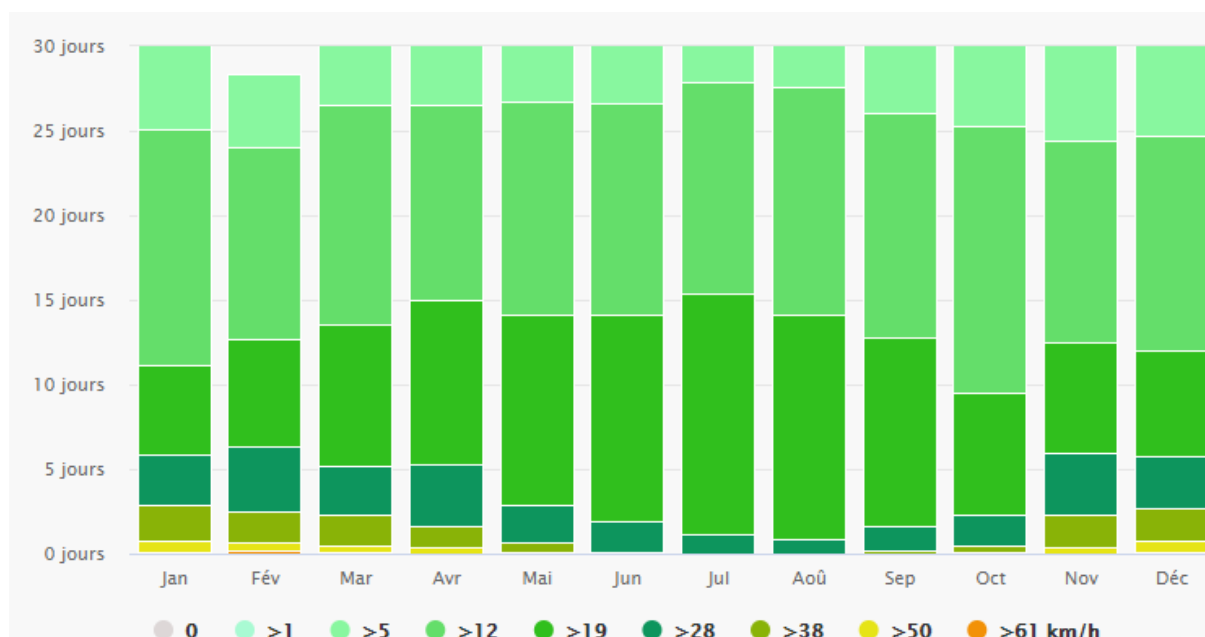


Figure II.3 : Vitesses de vent Bordj El Bahri, Alger.

Source : station météorologique de Dar-El-Beida.

Le diagramme de Alger montre les jours par mois, pendant lesquels le vent atteint une certaine vitesse. Un exemple intéressant est le plateau tibétain, où la mousson crée des vents forts et réguliers de Décembre à Avril et des vents calmes de Juin à Octobre.

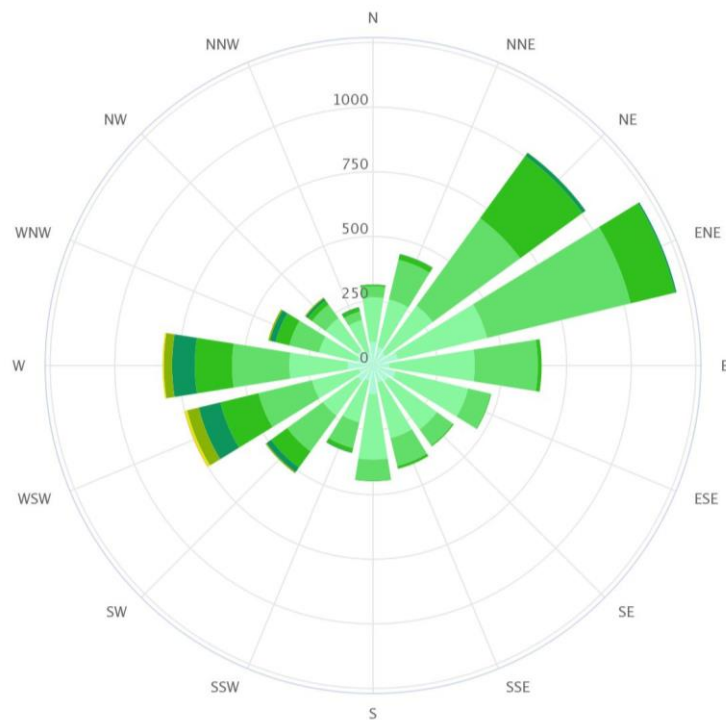


Figure II.4 : Rose des vents Bordj El Bahri, Alger. Source : station météorologique de Dar-El-Beida.

La Rose des Vents pour Alger montre combien d'heures par an le vent souffle dans la direction indiquée. Exemple S.O: Le vent souffle du sud-ouest (SO) au nord-est (NE).

c. Les précipitations :

Des précipitations moyennes de 3.6 mm font du mois de juillet le mois le plus sec. En décembre, les précipitations sont les plus importantes de l'année avec une moyenne de 100,9 mm.

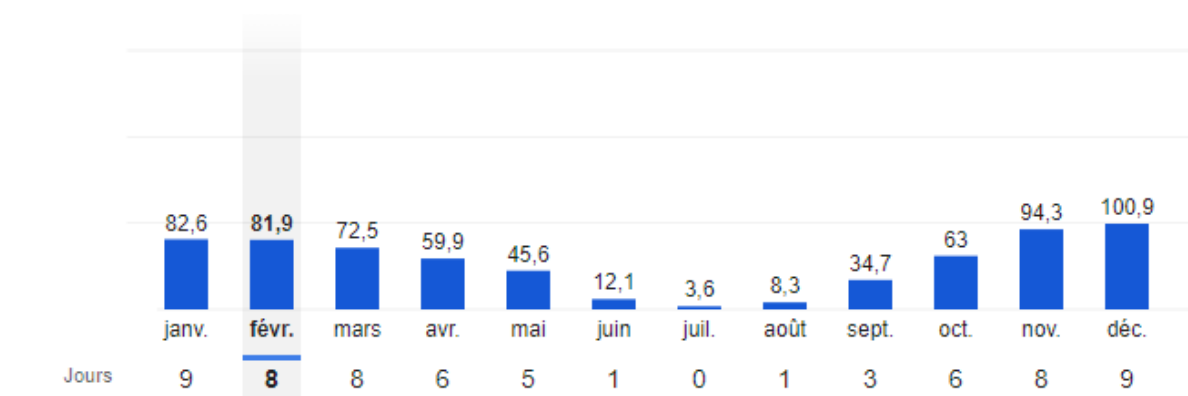


Figure II.5: Les précipitations mensuelles de Bordj El Bahri., Alger.
Source : station météorologique de Dar-El-Beida

d. Ensoleillement :

L'ensoleillement est très important (5 à 6 heures l'hiver et 11 à 12 heures l'été).

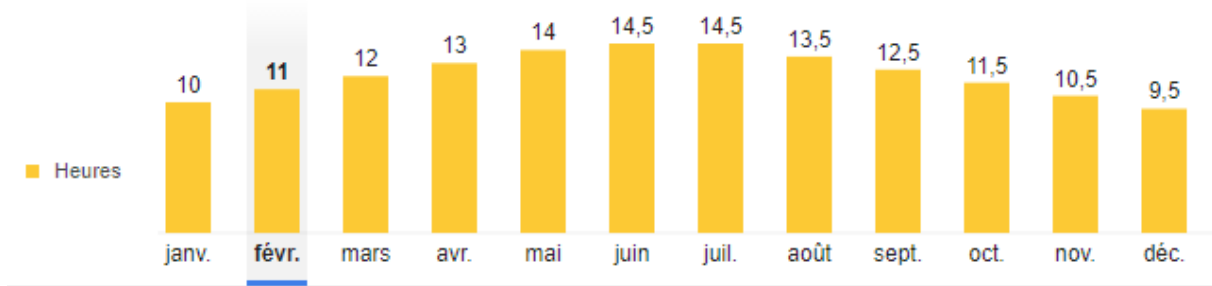


Figure II.6 : L'ensoleillement mensuel de Bordj El Bahri., Alger.
Source : station météorologique de Dar-El-Beida.

II.2.3 Choix et présentation du cas d'étude :



Figure II.7 Plan de situation de groupe scolaire. Source : GOOGLE EARTH
(Réadapté par l'auteur)

Le groupe scolaire **Elwarthilani** de type D à douze classes à Brise Marine Bordj El Bahri construit en 2015, ce bâtiment est classé comme ouvrage d'importance moyenne (groupe d'usage 2), qui est selon le règlement parasismique algérien, une zone de grande sismicité (zone III).

II.2.3.1 Plan de masse du groupe scolaire :

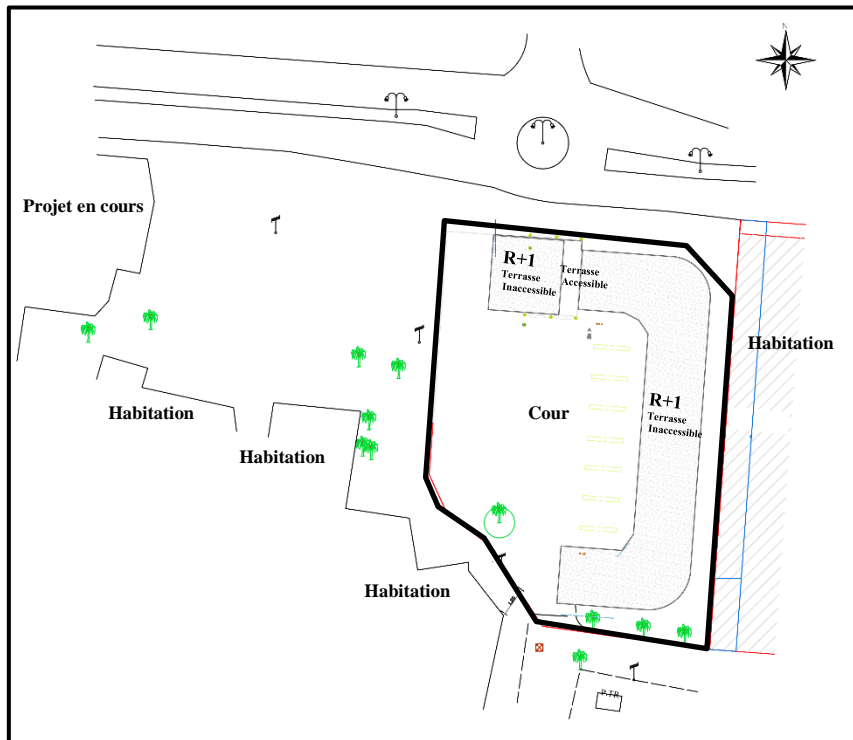


Figure II.8 Plan de masse de groupe scolaire. Source : bureau d'étude DAHOU (réadapté par l'auteur).

Le groupe scolaire occupe une surface de 2800m^2 , dont la surface construite est de 1045m^2 , il est conçu en forme U orienté Nord-Sud, il est implanté en retrait par rapport à la rue principale. Il est entouré d'habitations aux côtés sud et est, tandis que le côté ouest est un terrain vierge. Le groupe scolaire constitué de trois blocs.

Matériaux :

- Le système constructif mixte (poteaux- poutres) + voiles
- Plancher : les planchers sont réalisés en corps creux (20+4) et (20+4) avec une dalle de compression de 5cm, ferrillée d'un treillis soudés ($\phi 5$, maille 15x15).
- Maçonnerie : Les murs extérieurs sont réalisés en briques creuses en doubles cloisons (10 + 10) séparées par une lame d'air de 5cm. Les murs de séparation seront en brique creuse de 10cm.
- Revêtements :

Les revêtements sont comme suivis :

- Carrelage pour les planchers et les escaliers.
- Céramique pour les salles d'eau et cuisines.
- Mortier de ciment pour les murs de façades, cages d'escaliers, salles d'eau.

- Enduit de plâtre pour les cloisons intérieures et les plafonds.
- Porte en bois de (1,37*2,64) m.
- Fenêtre en bois de (1,55*1,60) m.



Figure II.9 : Environnement immédiat de groupement scolaire.
Source : Auteur.



Figure II.10 : Environnement immédiat du groupe scolaire.
Source : Auteur.

II.2.3.2 Caractéristiques de salle de classe :

Le bloc de groupe scolaire de douze (12) classes, deux salles d'enseignants et deux salles d'informatiques en (R+01), ayant l'orientation Est-Ouest.



Figure II.11 le bloc du groupe scolaire (deuze classes, deux salles d'informatiques et deux salles d'enseignants). Source : Auteur.

a. Dimensions :

- La salle de classe est de **9,80*6,35m**. (une surface de **62,23m²** avec une hauteur de **3,57m**).
- Le volume de la salle est de **222,16m³**.

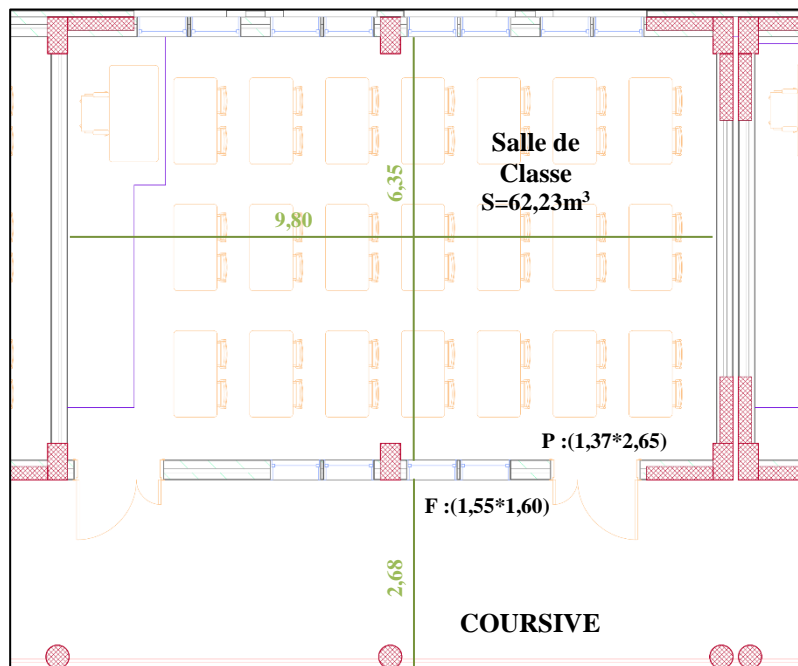


Figure II.12 : la salle de classe de groupe scolaire.
Source : bureau d'étude DAHOU (réadapté par l'auteur).

b. Orientation :

La conception du bloc en forme U offre aux salles de classes une double orientation, pour les classes de mono rangé deux orientations une à l'est et une à l'ouest, les deux autres classes avec double orientations nord et sud.

c. Degré d'ouverture :

La salle de classe est de **62,23m²**, contient six fenêtres dont quatre donnent sur l'extérieur et deux donnent sur la coursive.

Chaque fenêtre est de 1,55*1,60, soit une surface de **2,48m²**.

La surface totale des six fenêtres : $2,48*6=14,88\text{m}^2$.

La surface des ouvertures représente **23,91%** de la surface de plancher de la salle.

d. Nombre d'élèves :

Le groupe scolaire notre cas d'étude, contient douze (12) classes et douze groupe avec un nombre total de 402 élèves, dont le nombre d'élèves par classe est entre 32 et 35.

Les salles de classes ont une surface de **62,23m²** pour chaque une.

Le nombre des élèves prévus est de 32 élèves par classe, soit une moyenne de : **1,94m²** par élève.

II.3 L'outil de simulation (Présentation d'EcoDesigner STAR avec ArchiCAD) :

EcoDesigner STAR est un logiciel de simulation dynamique intégré au logiciel de modélisation 3D ArchiCAD, sont des logiciels développés par GRAPHISOFT. Ce logiciel permettant la simulation dynamique du comportement énergétique d'un bâtiment et de son équipement (chauffage, climatisation). Les architectes peuvent alors estimer les performances énergétiques directement d'ArchiCAD en utilisant l'infrastructure de l'environnement d'évaluation énergétique, et garantir une évaluation rapide dès les premières phases de la conception jusqu'à les dernières ; et faciliter de prendre le meilleur choix en conception.

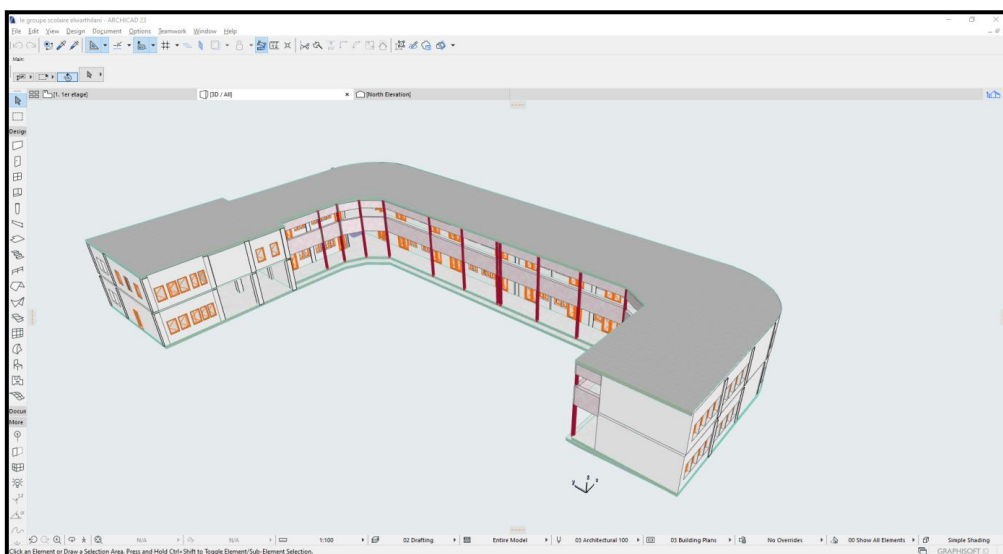


Figure II.13 : L'interface du logiciel ArchiCad. Source : Auteur.

II.3.1 Critères de choix d'EcoDesigner STAR :

Les dix dernières années ont connu une concurrence énorme dans le domaine de simulation énergétique et ses logiciels, notamment après la grande sensibilisation aux problématiques environnementales et énergétiques dans le monde. Le logiciel Eco designer STAR vient répondre à ces soucis en plus qu'il soit destiné entièrement aux architectes. Voici quelques avantages de son utilisation :



Figure II. 14 : Interface de logiciel EcoDesigner STAR.
Source : Brochure de marketing EcoDesigner STAR, 2020.

GRAPHISOFT EcoDesigner Star permet une évaluation rapide et efficace des alternatives d'esquisse basées sur la consommation énergétique.

Les architectes peuvent ainsi évaluer la performance d'énergie directement d'ArchiCAD avec EcoDesigner STAR, l'ArchiCAD la construction virtuelle devient encore plus intelligente "BEM » model. Dès la première phase de conception d'esquisse.

- **Directe BIM à BEM:**

Rend l'ArchiCAD "building information model" vers "building energy model" avec un minimum d'effort.

- **Rationaliser une collaboration entre les consultant de l'énergie et les ingénieurs :**

Exporte la géométrie BEM de blocs thermique multiple et les données de propriétés de matériau aux applications externes de calcul de l'énergie, et aux outils de conformité. L'export direct des canaux est disponible vers PHPP, VIP-Energy et ISBEM, tandis que le fichier exporté gbXML et la feuille de calcul détaillé XLS ; permet communication avec autres logiciels d'énergie.

- **Conforme à la norme :**

ANSI/ASHRAE la norme 140- 2007 est la méthode d'évaluation la plus rigoureuse pour construire des programmes informatiques d'analyse énergétique. Elle est référencée par la plupart des normes nationales et par les sections d'efficacité énergétique des systèmes de notation verte volontaire célèbres au monde ; comme (e.g. LEED, BREEAM, Green Star, Energy Star/Architecture 2030 Challenge etc.). Conforme à norme : ANSI/ASHRAE la norme 140- 2007 est la méthode d'évaluation la plus rigoureuse pour construire des programmes informatiques d'analyse énergétique. Elle est référencée par la plupart des normes nationales et par les sections d'efficacité énergétique des systèmes de notation verte volontaire célèbres au monde ; comme (e.g. LEED, BREEAM, Green Star, Energy Star/Architecture 2030 Challenge etc.).

- **BIM-intégré le flux de travail énergétique :**

GRAPHISOFT EcoDesigner STAR Public Beta est le premier logiciel qui place l'analyse énergétique conforme aux normes au sein de l'environnement de travail BIM de l'architecte. Il permet aux architectes de concevoir les bâtiments les plus efficaces énergétiquement, sans besoin de contribution ni aux ingénieurs ni au des consultants spécialisés.

- **Simulation de pont thermique :**

EcoDesigner STAR permet aux architectes d'effectuer une analyse de pont thermique sur tous détails de leur projet en quelques secondes. Cette fonctionnalité aide grandement les concepteurs à identifier les détails dans la conception qui sont responsables de la perte de chaleur et peuvent causer de la condensation ainsi que d'autres effets indésirables.

- **Liste d'ouvertures : modèle de base de l'étude solaire et des mécanismes d'ombrages :**

L'étude de d'irradiation solaire basée sur le modèle calcul de pourcentage d'ouverture de la surface exposé à la lumière directe du soleil pour chaque heure et d'une année entière.

- **Modèle de base d'étude d'irradiation solaire :**

La page d'ouverture de la Palette révision model en EcoDesigner STAR ; permet l'analyse individuelle (liste, édition et visualisation) de chaque limite d'espace transparent. C'est nécessaire d'exploiter d'avantage du Model-base d'étude d'irradiation solaire, avec laquelle le gain solaire à travers chaque élément transparent individuel de l'enveloppe du bâtiment peut être déterminé avec précision.

- **Rapport détaillé d'évaluation de la performance énergétique :**

EcoDesigner STAR : affichage entièrement personnalisables, des rapports détaillés en divers formats, l'énergie reliées les caractéristiques des blocs thermique individuels, y compris HVAC design data pour dimensionnement du système de construction (mode de calcul en demande).

Les valeurs clés du thermique et le bilan énergétique ainsi que les profils de température quotidienne.

Ce rapport détaillé permet aux concepteurs de surveiller non seulement l'ensemble de la performance énergétique du projet, mais également le comportement des espaces (ou groupes d'espaces) séparément, afin de bien les optimiser pour leurs buts spécifiques dans le bâtiment.

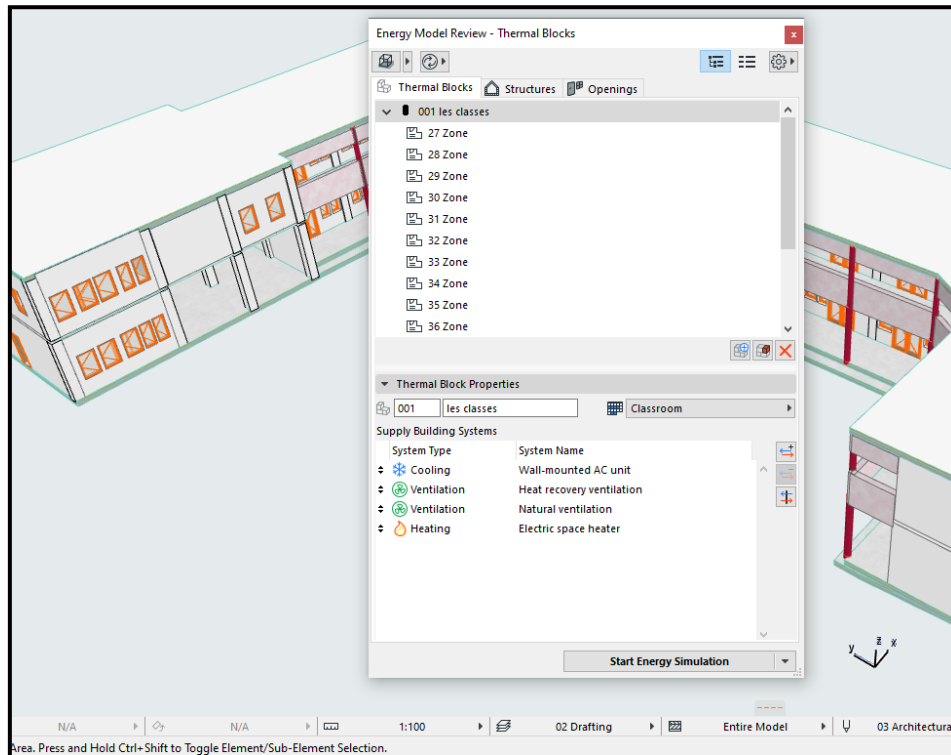


Figure II. 15 : Interface de logiciel EcoDesigner STAR. Source : Auteur.

- **Evaluation de la performance énergétique du bâtiment :**

EcoDesigner STAR aide les architectes à comparer l'efficacité énergétique de leurs alternatives de conception. Les résultats de conception-y compris les diagrammes d'économie-peuvent ensuite être inclut dans les rapports d'évaluation énergétiques.

II.4 Données de bases :

Préparation des modèles sous Ecodesigner STAR :

Modélisation de la forme (identification de données)

Les formes que l'on veut étudier dans cette recherche ont besoin d'une multitude de données et de paramètres que l'on doit préciser. Pendant les expérimentations la forme comme une variable dépendante donne (avec les mêmes données de base) des variables indépendantes.

On a précisé les paramètres nécessaires à nos simulations afin d'élaborer les différentes formes à étudier.

II.4.1 L'occupation par les personnes :

Les valeurs de l'activité de lecture ou écriture en position assise, avoisinent le taux métabolique de 60 W/m².

a. Densité d'occupation :

La salle de classe est en forme rectangulaire, ayant dimensions 6.35 x 9.80 m. Soit une surface de 62.23 m², avec une hauteur de 3.57 m.

Le groupe scolaire objet de notre étude, contient six (12) classes, trois (06) dans chaque niveau. Dans chaque classe nous retrouvons en moyenne 32 élèves dans notre cas la densité d'occupation est de **1,94 m²** par élève.

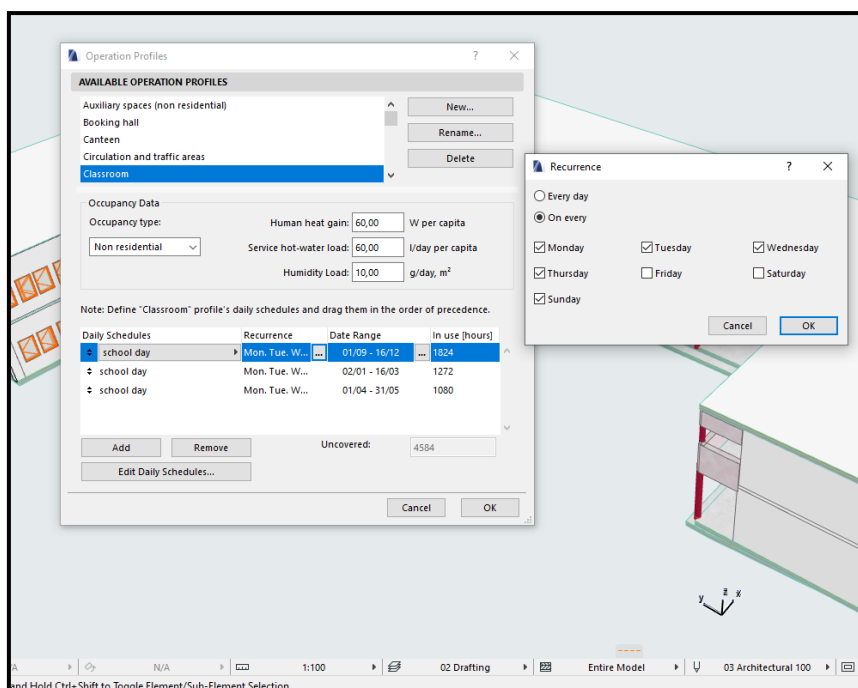


Figure II. 16 : Interface de logiciel EcoDesigner STAR. L'occupation par les personnes.
Source : Auteur.

b. Profil d'occupation :

L'école fonctionne de Dimanche au jeudi ; durant 32 semaines (160 jours et 1440 heures) de l'année, (de 01 septembre au 16 décembre / de 02 janvier au 16 mars/ de 01 avril au 31 mai). L'école fonctionnant à temps plein ; l'horaire d'occupation alors reste ouvert pendant la journée dont, les besoins réels sont de : 8h 00 à 17 h 00.

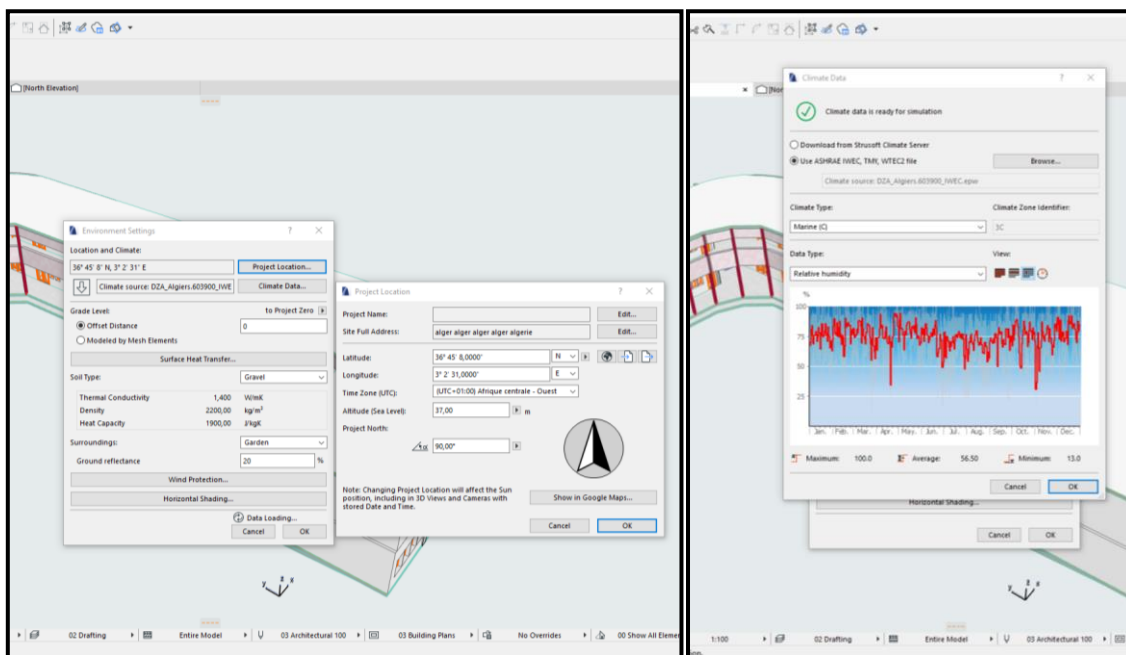
II.4.2 de ventilation, chauffage et de climatisation :

Dans le climat méditerranéen d'Alger et pour les établissements scolaires, la consommation d'énergie est associée principalement au chauffage, puis l'éclairage et la climatisation. Les systèmes de construction choisis sur le logiciel sont des systèmes non spécifier ; de chauffage, climatisation et de ventilation naturelle.

II.4.3 Les données météorologiques :

Les données climatiques de la ville d'Alger principalement la commune de Bordj el Bahri ; doivent être fournies pour EcoDesigner afin d'accomplir ses fonctions correctement. On a ramené les données horaires de climat de la base des données du site « Energy plus ». Le logiciel ouvre une multitude de choix de fichiers climatiques pour les importer. Le fichier que l'on a fourni pour le logiciel est un fichier à l'extension CSV. Ensemble des données horaires de climat, sont les suivantes :

- La température de l'air extérieur en degré Celsius (C°).
- L'humidité relative en pourcentage (%).
- Vitesse du vent en mètre par seconde (m/s).
- Rayonnement direct normal en kilo joule par heure (kJ/h).
- Rayonnement diffus horizontal en kilo joule par heure (kJ/h).
- Rayonnement globale horizontal en kilo joule par heure (kJ/h).



Figures II. 17 : Interface de logiciel EcoDesigner STAR. L'insertion des données météorologiques.

Source : Auteur.

II.5 Variables indépendantes :

II.5.1 Forme du bâtiment :

I. Construction des formes sous ArchiCad :

Nous avons défini trois types de formes à modéliser, le premier est le plan type du model linéaire exigé par le ministère. Toutes les formes sont caractérisées par les mêmes configurations, les mêmes proportions et les mêmes propriétés. Bâtiments construit en deux niveaux (R+01), orientée Nord-Sud, contient l'essentiel tous le projet « les salles de classe,

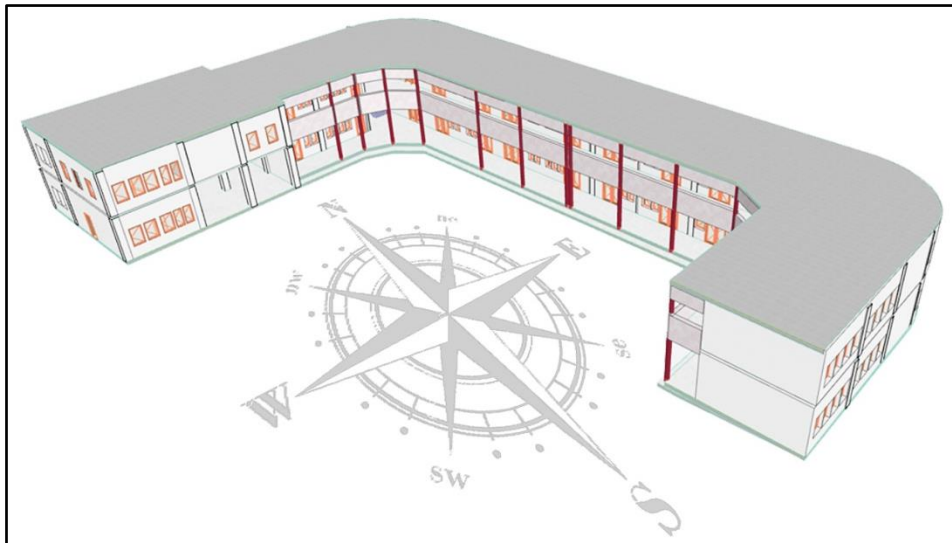
Chapitre II : Cas d'étude, simulation numérique et résultats

l'administration et un logement de fonction » ; avec une coursive ou cours et une terrasse plate inaccessible.

II.5.2 Les types de modèles conceptuels proposés à la simulation :

On considère trois formes de base en fonction des conclusions effectuées dans le chapitre précédent. Ces types vont prendre ces appellations durant la simulation : "modèle existant" pour la forme existante. "1^{er} modèle" pour la forme à cour fermée, "2^{ème} modèle" en forme U à galerie pédagogique collective.

II.5.2.1 Le modèle de cas d'étude (modèle existant) :

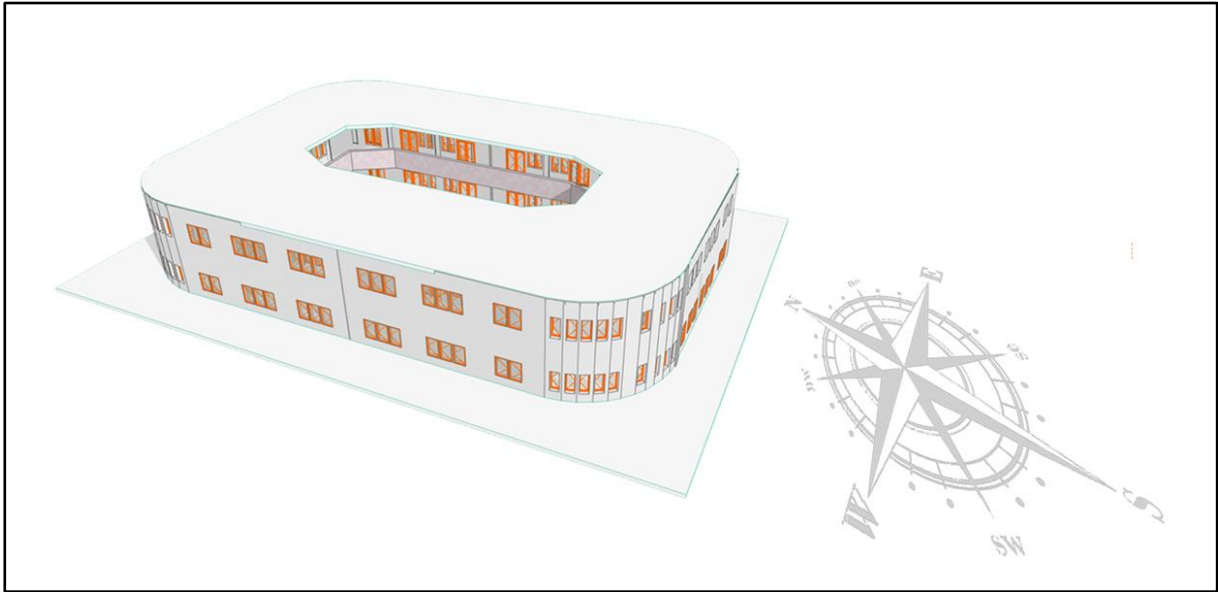


Figures II. 18 : La forme existante, modèle du cas d'étude. Source : Auteur.

Le groupe scolaire se compose de deux blocs non séparés, le groupe de l'administration et le logement de fonction et un deuxième bloc de classes et salles d'informatique. La forme initiale en (R+02). Avec une coursive et une terrasse plate inaccessible.

Ce type de modèle ; pendant la simulation va prendre le nom « forme existante ». C'est le bâtiment de référence et c'est avec ce modèle que l'on va comparer les résultats.

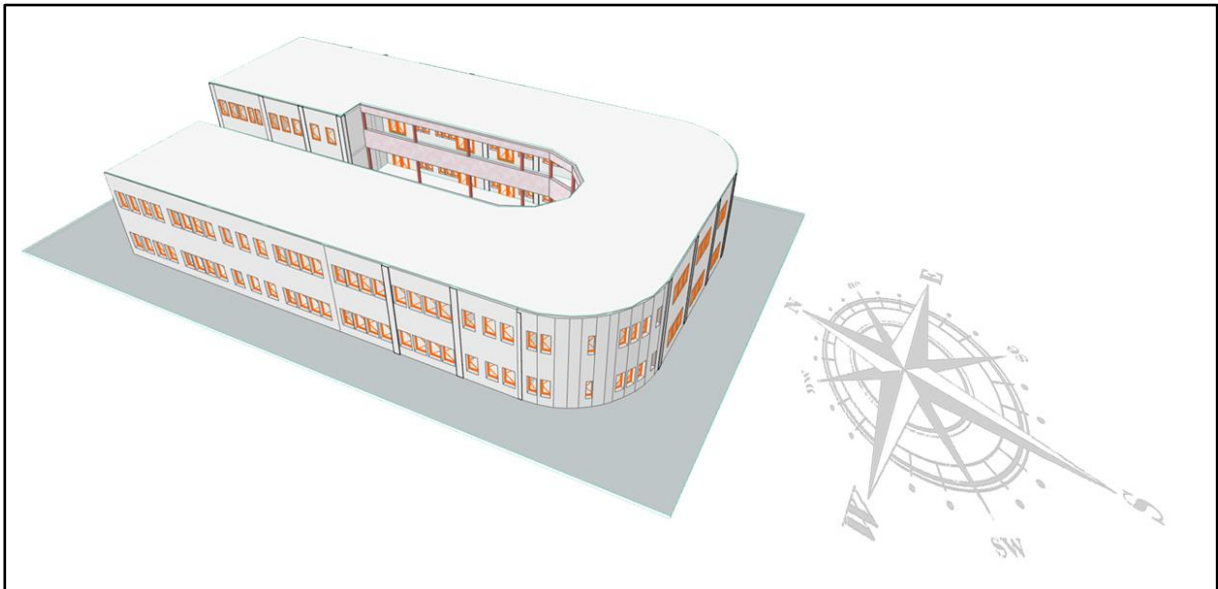
II.5.2.2 Plan de l'ensemble à cour fermée (1^{er} modèle) :



Figures II. 19 : La forme du 1er modèle proposé. Source : Auteur.

Il s'agit d'un volume compact avec un espace central (cour fermée) dont les dimensions de la cour sont proportionnelles par rapport aux dimensions de la salle de classe.

II.5.2.3 Plan de l'ensemble en forme U à galerie pédagogiques collectifs (2^{ème} modèle) :



Figures II. 20 : La forme du 2^{ème} modèle proposé. Source : Auteur.

Le modèle est en en forme U avec un espace ouvert.

Deuxième section : Présentation et analyse des résultats de simulation.

II.6 Variable dépendante :

Pour la forme, la seule variable dépendante, elle dépend de ses consommations énergétiques annuelles. Dans cette partie, nous allons calculer les consommations annuelles globales et par cibles, ainsi que la compacité de la forme et son impact sur la consommation énergétique, et enfin on fera une comparaison des résultats de simulation de variables étudiées avec les consommations réelles et l'économie d'énergie que l'on peut réaliser.

II.6.2 Consommation énergétique :

La consommation énergétique dépend complètement des données de bases insérées, dont les valeurs annuelles des besoins énergétiques globales incluent le chauffage, la climatisation, eau chaude sanitaire, l'éclairage ainsi que la ventilation. Ces cibles seront évaluées par l'indicateur couramment utilisé qui est le Kilowattheure par mètre carré et par année (kWh/m². a).

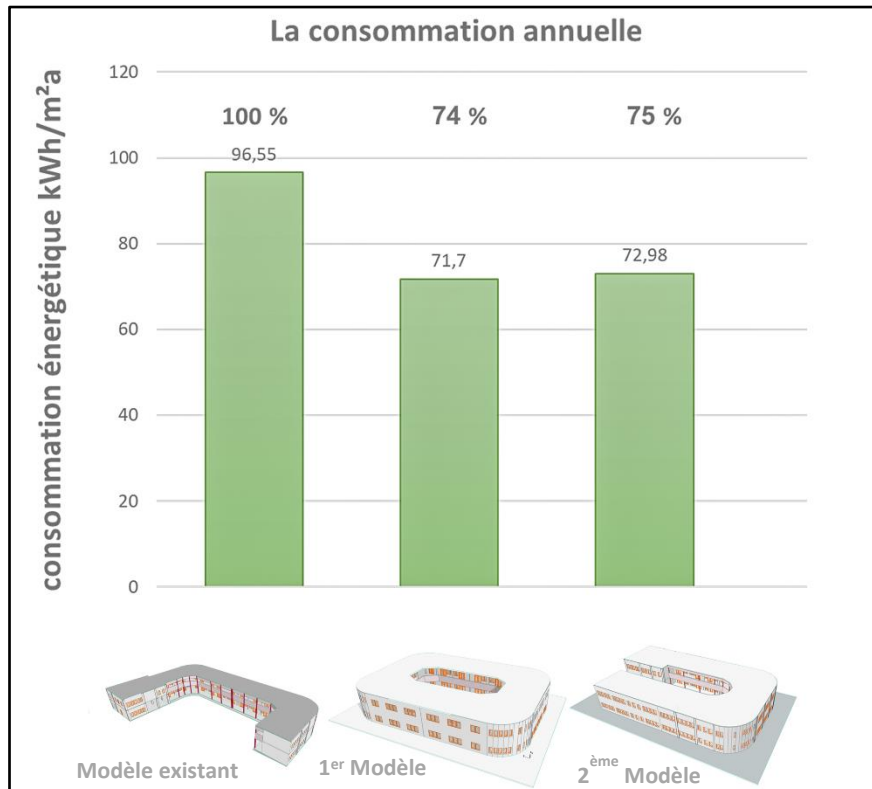
II.6.2.1 L'interprétation des résultats obtenus :

L'objectif de la simulation est d'analyser et d'évaluer l'interaction entre les modèles choisis et le climat défini (Méditerranéen tempéré). EcoDesigner STAR permet de faire une synthèse de simulations réalisée sous format PDF ou Excel en reportant pour chaque variante, les besoins en chauffage, en climatisation, en éclairage, etc. ainsi que les températures minimales et maximales sous forme de bilan, tableau et profil.

II.6.2.2 Impact de la forme sur la consommation énergétique :

Sur la section valeurs clef de la synthèse de simulation (voir annexe) ; on trouve les demandes annuelles spécifiques que l'on traduit sous forme de graphes afin de simplifier et faciliter la lecture et l'interprétation. Dans cette étape on va comparer tous les résultats de la Quantité d'énergie consommée par les différentes formes proposées avec les résultats du modèle existant pris comme la consommation référentielle.

a. La consommation énergétique globale annuelle :



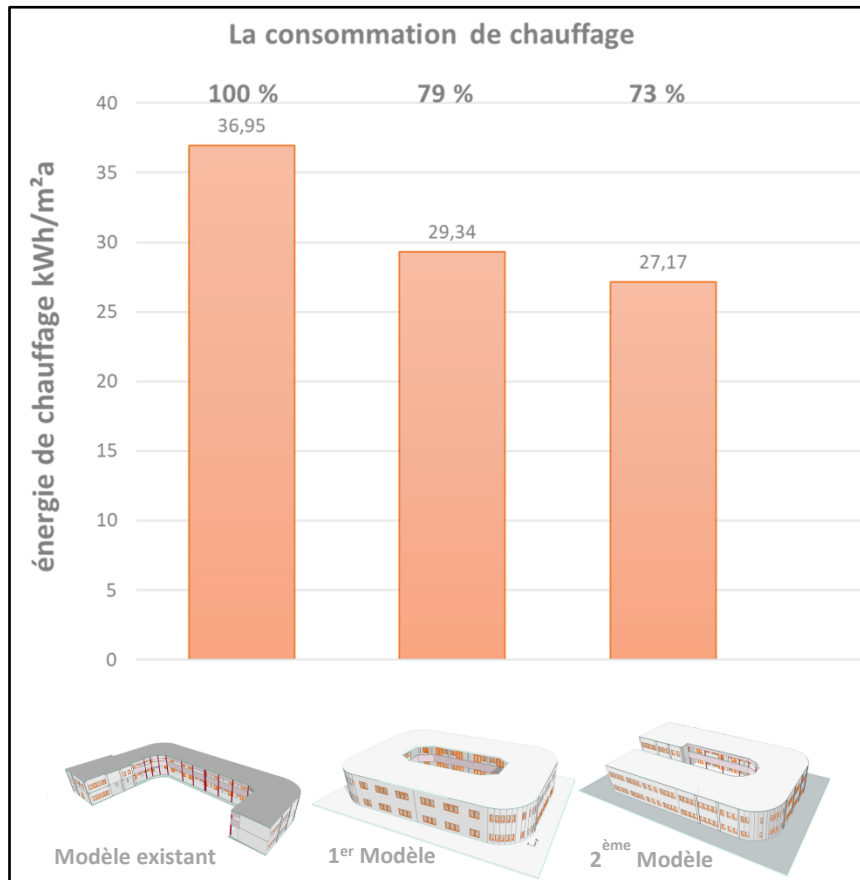
Figures II. 21 : La consommation énergétique globale annuelle de tous les modèles.
Source : Auteur.

Le modèle qui a une haute consommation énergétique annuelle des différents modèles c'est le modèle de référence existant par 96,55 kWh/m².a, et les autres modèles proposées donnent des résultats les plus positifs. Dont le premier modèle (forme à cours fermé) est le plus performant énergétiquement, avec une baisse importante en consommation de 26% (24,85 kWh/m².a), puis le deuxième modèle (forme U à galerie pédagogique collective) qui consomme moins de 25% (23,57 kWh/m².a).

b. La consommation annuelle d'énergie par cibles :

La comparaison des barres représentatives de la quantité d'énergie consommée en différents cibles (chauffage, refroidissement, équipement et éclairage, et la ventilation.) de trois formes traitées :

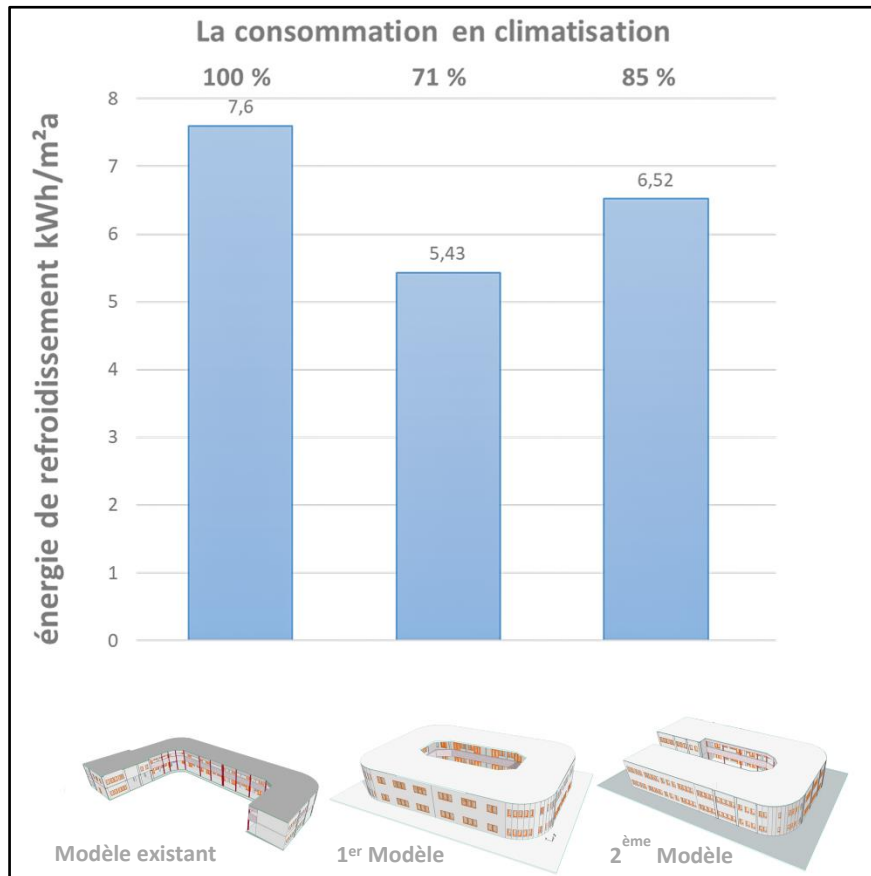
1. La consommation en chauffage :



Figures II. 22 : La consommation en chauffage de tous les modèles.
Source : Auteur.

On remarque qu'il y'a une différence entre la consommation annuelle de chauffage de modèle de référence (existant) et les deux autres modèles proposés, ces derniers présentent une économie importante, le premier modèle économise d'environ 21% (7,61 kwh/m².a), tandis que le 2ème modèle marque une baisse de consommation de 27% (9,78 kwh/m².a) de la consommation de référence d'où il est le plus performant énergétiquement.

2. La consommation en refroidissement (climatisation) :

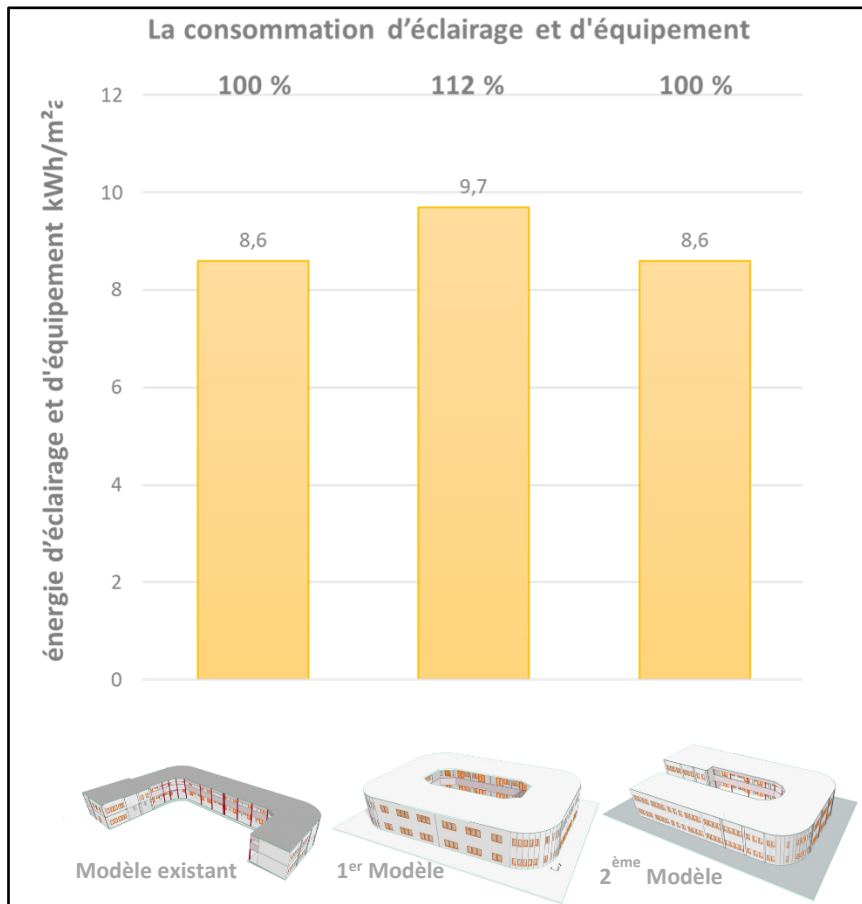


Figures II. 23 : La consommation en climatisation de tous les modèles.

Source : Auteur.

En opposition avec la consommation en chauffage, les formes ne représentent pas une grande différence de consommation en climatisation ceci s'explique par le fait qu'il n'y est pas de fréquentation de l'école en période de saison chaude en été où le climat est chaud et humide, Ainsi, le premier modèle le plus performant marque une baisse de 29% (2,17 kWh/m².a) par rapport à l'existant., dont le deuxième modèle marque une baisse de consommation de 15% (1,08 kWh/m².a).

III. La consommation en éclairage et en équipement :



Figures II. 24 : La consommation en éclairage et en équipement de tous les modèles.
Source : Auteur.

Malgré qu'il y'a un besoin en énergie d'éclairage, mais il reste faible comparativement aux besoins des autres cibles, le modèle existant ainsi que le deuxième modèle sont les plus performants avec une consommation de 8,6 kwh/m².a, et l'haute consommation en éclairage et en équipement de 9,7 kwh/m².a se référer au premier modèle proposer.

III.6.2.3 La compacité de la forme et la compacité énergétique :

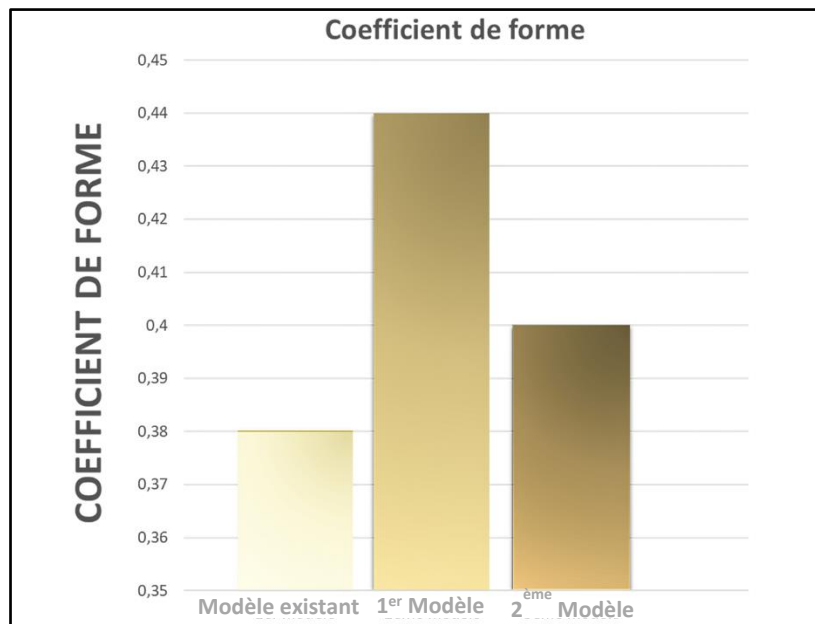
Le coefficient de forme est le rapport de la Surface totale d'enveloppe et du volume habitable d'un bâtiment. Il dépend de la taille du bâtiment et de sa morphologie qui ont une forte influence sur ces consommations, à travers le « coefficient de forme », il s'exprime en (m²/m³). Et permet de comparer plusieurs formes afin de choisir la meilleure forme en consommations énergétiques.

Chapitre II : Cas d'étude, simulation numérique et résultats

Le tableau ci-dessous présente la surface totale de l'enveloppe, le volume exploité et le coefficient de forme de chaque forme existante et proposée :

Typologie	Forme existante	1 ^{er} model	2 ^{ème} model
Surface enveloppe extérieur	1221,44	1458,51	1270,38
Volume chauffé	3135,92	3313,74	3171,90
Coefficient de forme C_f	0,38	0,44	0,40

Tableau III.1 : Le coefficient de forme de différents volumes. Source : Auteur.



Figures II. 25 : le coefficient de forme de différents modèles.

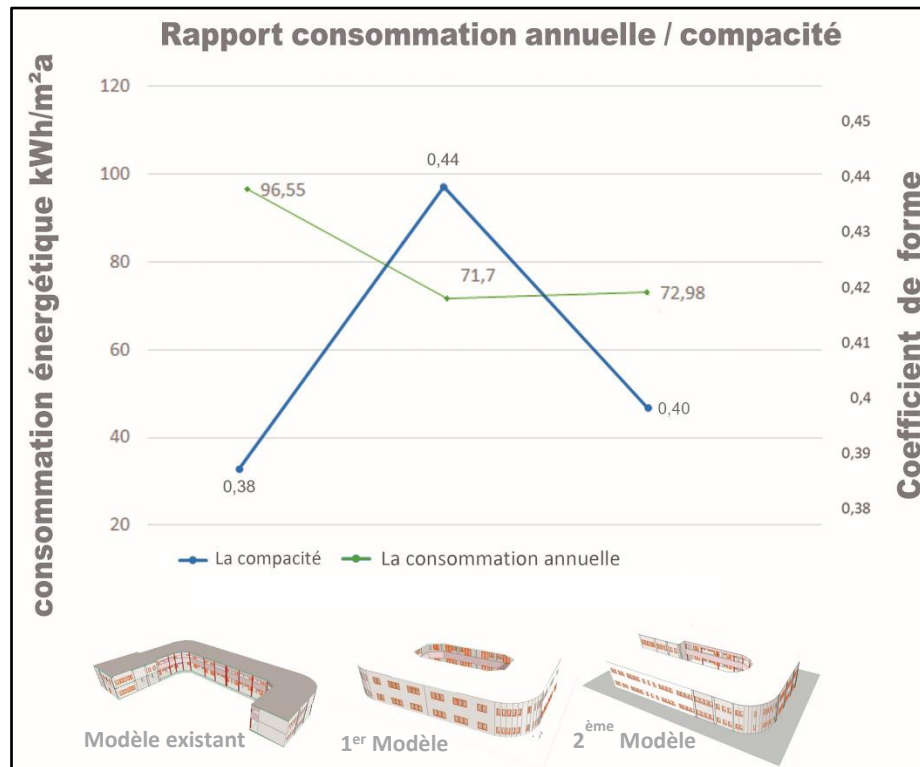
Source : Auteur.

D'après la figure ci-dessus on constate qu'il n'y a pas une différence importante dans la compacité des différents modèles, la forme la plus compacte alors c'est le premier modèle existant (modèle de référence) avec un C_f de 0,38. tandis que le deuxième modèle (type à cour fermée) est la forme la plus fluide dû à ses surfaces d'enveloppe qui sont les plus exposées aux facteurs climatiques avec un coefficient élevé de $C_f = 0,44$. le deuxième modèle (forme U à galerie pédagogique) qui est très proche en valeur de C_f au modèle de référence le plus compacte avec $C_f = 0,40$.

Nous allons voir l'effet de la compacité sur la consommation énergétique des différentes cibles dans l'étape suivante.

c. Impact de la compacité sur la consommation :

1. Rapport consommation globale annuelle et compacité :

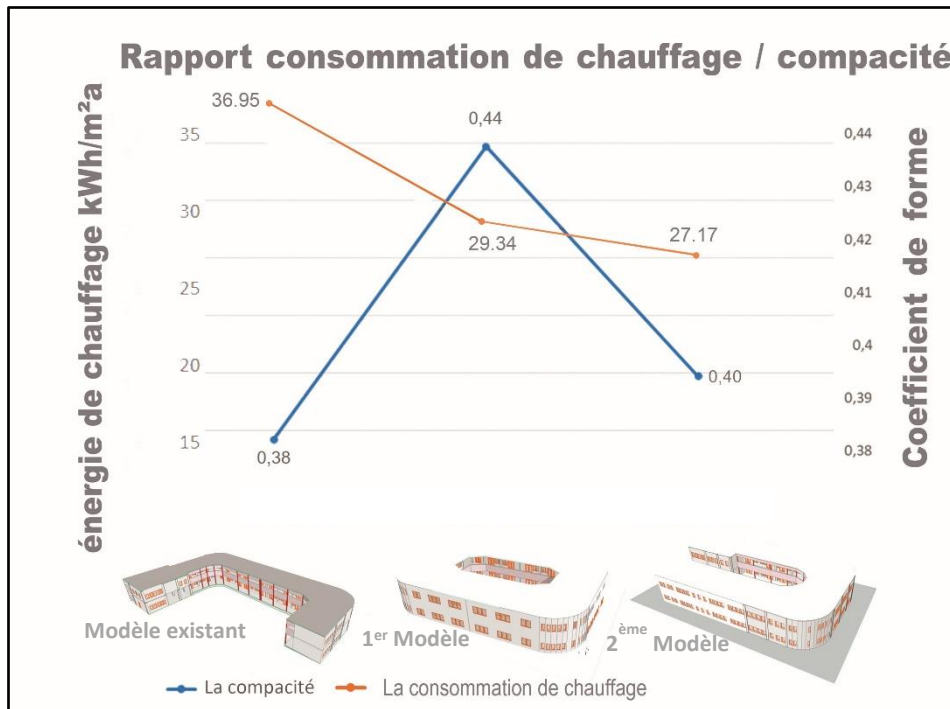


Figures II. 26 : Rapport consommation globale annuelle /compacité.

Source : Auteur.

D'après la lecture de cette figure on remarque que le choix de la forme compacte n'est pas une solution optimale pour une meilleure performance énergétique pour un climat méditerranéen tempéré, la forme compacte consomme plus. Le modèle existant est la forme la plus compacte avec une haute consommation énergétique de $96,55 \text{ kWh/m}^2.a$. On constate aussi que le troisième modèle marque une basse de consommation importante avec un $C_f = 0,4$. Le deuxième modèle qui a la meilleure forme en consommation de $71,7 \text{ kWh/m}^2.a$ malgré qui est le moins compacte $C_f = 0,44$.

2. Rapport de consommation en chauffage et compacité :

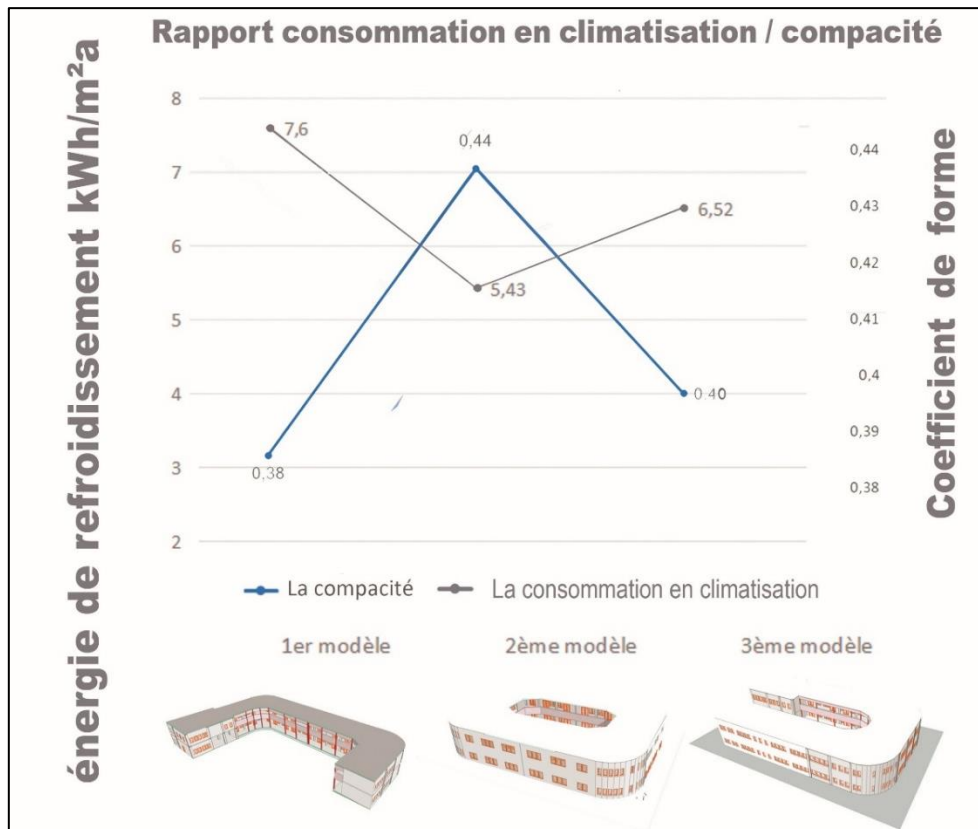


Figures II. 27 : Rapport consommation en chauffage /compacité.

Source : Auteur.

La forme existante reste la plus énergivore avec une consommation en chauffage de 36,95kwh/m².a malgré qu'elle est la forme la plus compacte, le graphe continue en descente, le deuxième modèle (type à cour fermé) tandis qu'il a un $C_f = 0,44$ le plus élevé mais il a marqué une baisse importante au consommation en chauffage par rapport au modèle existant avec une descente jusqu'à 29,34 kwh/m².a. le troisième modèle (forme U à galerie pédagogique collectif) obtient le bon résultat en consommation en chauffage 27,17 kwh/m².a (moins de 27%).

3. Rapport de consommation en climatisation et compacité :

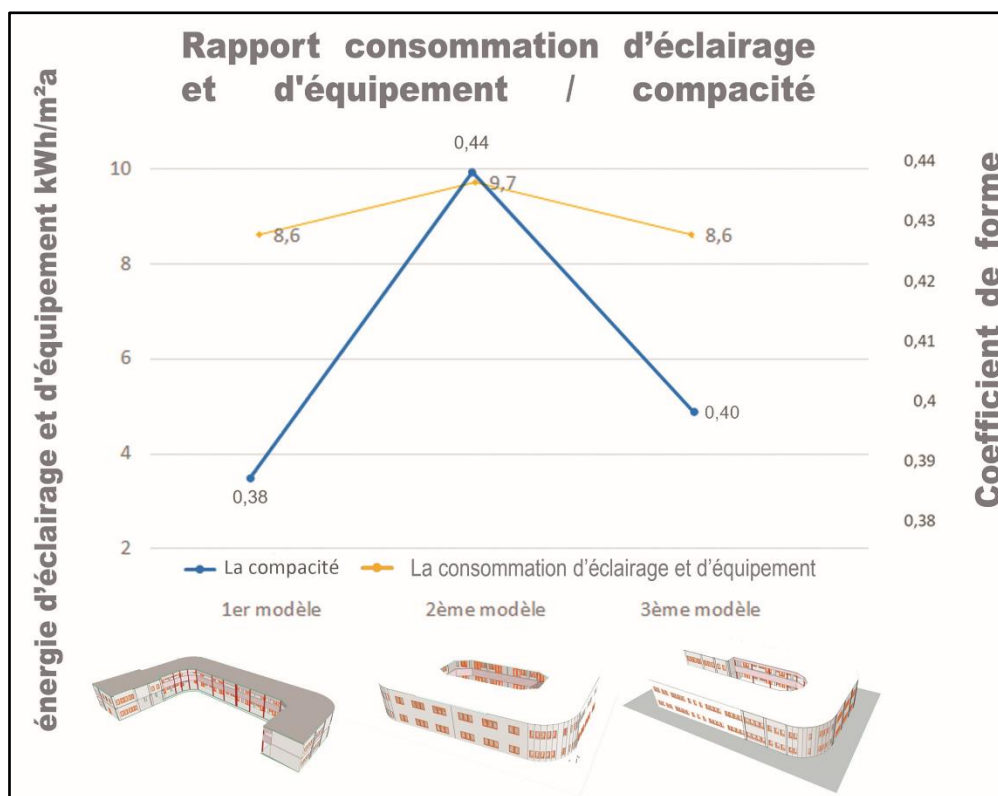


Figures II. 28 : Rapport consommation en climatisation /compacité.

Source : Auteur.

L'influence de la compacité sur la climatisation ne donne pas une différence très importante (2,17 kwh/m².a).le choix du 1^{er} modèle (à cour fermée) réduit la consommation par (5,43 kwh/m².a) ,29% de la consommation référentielle malgré sa faible compacité $C_f = 0,44$, mais reste proche en terme de consommation au 3^{ème} modèle de différence d'environ (1 kwh/m².a).

4. Rapport de consommation d'éclairage et équipement et compacité :



Figures II. 29 : Rapport consommation d'éclairage et équipement /compacité.

Source : Auteur.

La courbe de la consommation en éclairage et équipement est proportionnelle à celle de la compacité, lorsque la valeur de compacité est grande la consommation augmente, le premier modèle existant et le troisième modèle consomme moins 8,6 kwh/m².a donc une diminution de (1,1 kwh/m².a) par rapport au deuxième modèle (à cour fermée) par ce que les ouvertures bilatérales sur l'extérieur diminue la consommation en éclairage.

II.6.2.4 Comparaison d'impact des variables étudiées :

L'objectif de la simulation est de trouver l'interaction forme climat, et mesurer l'effet du choix de différentes formes sur la consommation énergétique afin de les comparer et faire sortir la meilleure forme.

Les résultats présentés dans ce chapitre se résument en :

- La forme a une influence importante sur la consommation énergétique.
- Dans un climat tempéré méditerranéen, La forme affecterait la consommation énergétique surtout sur la consommation en chauffage, tandis que le changement de la forme n'aurait pas une grande influence sur la climatisation.
- La compacité de la forme a un effet sur les différentes formes d'énergie.

Chapitre II : Cas d'étude, simulation numérique et résultats

Ainsi on a remarqué que la typologie la plus performante est la forme à cour fermée (le 1^{er} modèle) d'où elle présente un résultat sublime en consommation d'énergie 71,7 kWh/m².a ,en opposition la typologie la plus énergivore est la typologie existante qui consomme environ 96,55 kWh/m².a .l'écart de consommation entre les deux typologies est à 24,85 kWh/m².a avec une réduction de 26%.

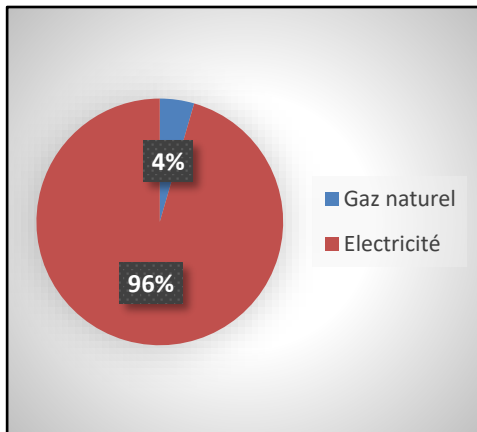
Le deuxième modèle marque une réduction de consommation en chauffage de 27% d'où on peut le proposer comme une solution énergétique, dont les besoins d'une école algérienne sont référés en chauffage.

III.6.2 Comparaison des résultats de simulation avec les consommations réelles :

Groupe scolaire Elwarthilani –Bordj El Bari - Alger				
Date de facture	Formats d'énergie consommée		Energie finale consommée/ kWh	Montant toutes taxes/DA
	Electricité/kWh	Gaz naturel/kWh		
Janvier 2019	634,00	18 752 ,43	19 386,43	5 758 ,40
Avril 2019	952,00	75 265,45	76 217,45	23 776,08
Juillet 2019	827,00	2 743,65	3 570,65	892,23
Octobre 2019	1 524,00	549,63	2 073,63	36 402 ,01
Année entière	3 937,00	97 311 ,16	101 248,16	66 828,72
Consommation annuelle –Tout format d'énergie /an				

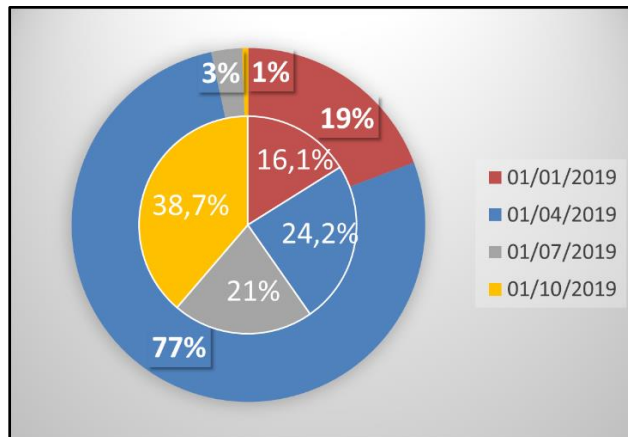
Tableau II.2 consommation trimestrielle d'énergie de groupe scolaire Elwarthilani. Source : Auteur.

Consommation annuelle



Figures II.30 : Consommation annuelle de groupe scolaire Elwarthilani, tous formats d'énergie. Source : Auteur.

Consommation trimestrielle



Figures II.31 : Consommation trimestrielle de groupe scolaire Elwarthilani, tous formats d'énergie. Source : Auteur.

On remarque que l'énergie consommée pour ce groupe scolaire est principalement en forme de Gaz naturel à 96% par rapport à l'électricité qui est à 4%. D'après le tableau ci-dessus de la consommation trimestrielle, on constate qu'il y'a une basse utilisation de gaz pendant la période

Chapitre II : Cas d'étude, simulation numérique et résultats

de vacances et la période chaude de Avril à Septembre, tandis que la consommation de gaz est très élevée durant la période froide avec 77% le deuxième trimestre et 19% le premier trimestre.

L'électricité est utilisée pour le chauffage, l'éclairage et les équipements, sa consommation atteint un pourcentage important 38,1% dont est utilisée pour la climatisation, l'éclairage de l'administration et les locaux de garde.

a. Calcul de la consommation réelle en énergie :

• Besoin d'espace en énergie :

Surface de l'école : 2800,00 m²

Surface construite : 1045,82 m²

Surface salle de classe : 62,23m²

Surface deux salles d'informatique : 111,06m²

Surface salles d'enseignants : 62,38m²

Surface deux bureaux administratifs : 33,44m²

Nombre et type de salles utilisées : 12 salles de classes+2 salles d'informatique+2 salles d'enseignants+2bureaux administratifs.

Surface utile réellement utilise de l'énergie : $(62,23 \times 12) + (55,53 \times 2) + (31,19 \times 2) + (10,78 + 21,27) = 952,25\text{m}^2$.

Besoins d'énergie tous formats en kWh/m². an : $101\,248,16/952,25 = 106,32 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{an}$.

Besoins d'électricité en kWh/m². an : $3\,937,00/952,25 = 4,13 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{an}$.

Besoins de gaz en kWh/m². an : $97\,311,16/952,25 = 102,19 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{an}$.

b. Des défis contraignent la conformité de calculs des simulations :

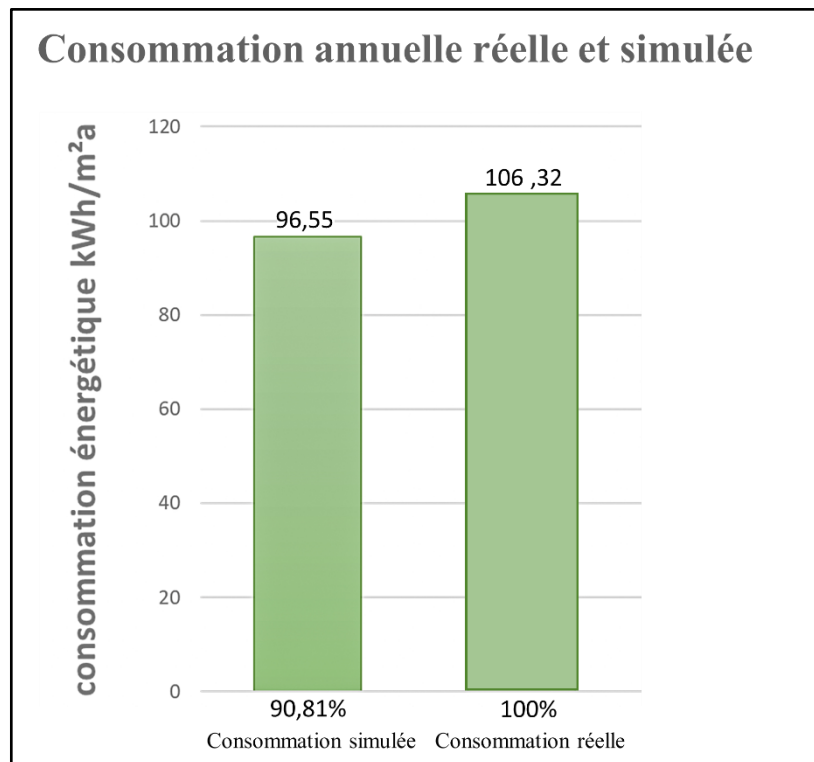
Il est difficile de mesurer et calculer la consommation réelle d'énergie dont les résultats de toute simulation énergétique sont limités quant à la précision. La source de différence résident dans :

- La préparation du modèle de bâtiment et dans l' algorithme du calcul, car un modèle théorique ne peut représenter parfaitement un modèle réel.
- Le fichier des conditions climatiques. Le logiciel EcoDesigner STAR utilise les paramètres climatiques d'Alger alors que le groupe scolaire étudié est situé dans la commune de Bordj El Bahri. Une distance de 20 Km sépare les deux emplacements.

Chapitre II : Cas d'étude, simulation numérique et résultats

- La source probable de la différence des résultats est sans doute le comportement des élèves et des occupants dans l'école. Une étude de l'efficacité énergétique (Zrneureanu, 1999).
- Le surplus d'énergie facturée à cause de l'utilisation de cette dernière hors les heures et les jours de fonctionnement de l'école.

Avec tous ces défis les résultats de la simulation qu'on a trouvé reste un peu proche en chiffres à la consommation réelle qui est à 106 ,32 kWh/m². an. Et la consommation estimée est à 96,55 kWh/m².



Figures II.32 : Comparaison entre la consommation annuelle réelle et simulée de groupe scolaire Elwarthilani. Source : Auteur.

En comparant entre la consommation réelle et simulée on trouve que :

- En réalité il n'y a pas une consommation d'énergie en ventilation, climatisation (les climatiseurs ne sont pas exploités) ainsi que l'électricité pour les équipements.

c. Energie et monnaie économisées :

On prend la forme à cour fermée le premier modèle le moins consommateur en énergie par 26% par rapport à la forme existante :

Energie finale économisée : $101\,248,16 \times 0,26 = 26\,324,52$ kWh/ an.

Montant toute taxes : $66\,828,72 \times 0,26 = 17\,375,47$ DA/an.

Donc au future si on propose de construire des écoles de forme à cour fermée dans un climat méditerranéen on va gagner 26 324, 52 kWh/ an par la forme seule.

II.7 Synthèse :

Dans ce chapitre nous avons effectué le travail pratique de notre recherche sur un groupe scolaire et on a étudié les caractéristiques de la salle de classe, dimensions, orientation, degré d'ouverture, et après avoir pris connaissance du mode de fonctionnement du logiciel EcoDesiner STAR nous avons pu déterminer notre méthodologie de recherche et notre protocole de simulation.

On a traité les résultats de simulations en étudiant l'impact des quelques formes d'établissements éducatifs sur le confort thermique et la consommation énergétique en chauffage, climatisation et à l'éclairage et l'équipement. Dans ce chapitre on a également vérifié l'impact de la compacité de la forme qui est un indicateur relatif à cette dernière sur la consommation énergétique.

Les résultats de simulation thermique dynamique des différents modèles on a permis de retenir ce qui suit :

- L'impact du choix de la forme architecturale lors de la conception apparait dans notre étude, afin de produire des établissements éducatifs plus confortables thermiquement, moins consommateurs énergétiquement et plus répandus en matière d'apprentissage.
- Les formes du plan proposées sont les plus performantes les moins consommatrices en énergie et les moins compactes, elles sont abouties une réduction de consommation de 25 à 26% par rapport à la forme existante (référente) compacte $C_f=0,38$ qui consomme 96,55 kWh/m². an, la meilleure entre elles est la forme à cour fermée (1^{er} modèle) la forme privilégiée ,la moins compacte $C_f= 0,44$ qui consomme 71,4 kWh/m². an, dont l'écart de consommation est 24,85 kWh/m². an.

Cette dernière conclusion est parfaitement concordante aux déclaration des chercheurs

- La compacité de la forme ne serait pas la principale stratégie d'efficacité énergétique (Hawkes, 1996).
- La compacité peut ne plus être recommandée. (P. Depecker et al 2001)
- Les typologies allongées seraient les plus adéquates pour le climat tempéré (Behsh, 2002).

Conclusion générale :

Conclusions :

La mission de l'architecte est de concevoir un bâtiment fonctionnel, esthétique, économique et confortable, pour la satisfaction de nos besoins en matière de confort. Le confort thermique dans le bâtiment est à l'heure actuelle un enjeu majeur, tant pour la qualité des ambiances intérieures, que pour les problématiques énergétiques et environnementales. La recherche à le satisfaire a résulté par une généralisation de l'utilisation des systèmes mécaniques afin de créer et de maintenir les conditions d'ambiances intérieures confortables. Toutefois cela participe à la consommation d'énergie.

La recherche se base sur la consommation énergétique dans les établissements éducatifs, Notre recherche s'est établie en deux parties principales, la première théorique, d'où nous avons au préalable de donner une définition élargie à la forme de bâtiment puis nous avons tenté d'étudier l'architecture et l'espace scolaire en Algérie, ensuite nous avons analysé les connaissances existantes en matière d'énergie et de confort thermique. Il fallait aussi aborder le climat et son lien avec la forme dont beaucoup de chercheurs ont entamé des recherches sur l'importance de l'espace scolaire et son efficacité énergétique, et enfin analyser deux exemples d'établissements éducatifs et leurs efficacités énergétiques.

L'ensemble de la partie théorique a permis de prendre conscience que la production des établissements éducatifs dû faire face aux besoins importants dus au développement démographique et à la politique de la généralisation de l'enseignement obligatoire et gratuit. Pour répondre à cette grande demande, le ministère de l'éducation nationale s'est engagé dans la standardisation des constructions scolaires en proposant des plans types à construire par tout sur le territoire national ; négligeant de ce fait les caractéristiques climatiques de chaque région.

Le maitre d'ouvrage algérien recourir à cette opération dans notre pays en un de ces deux cas : problèmes financiers ou le besoin d'une production rapide et importante. Et toujours avec une privation en chauffage et en climatisation dans une longue durée de l'année. Cette réalité vient à répondre à notre problématique en ce qui concerne la forme la plus adéquate pour les établissements éducatifs dans un contexte de climat tempéré méditerranéen.

La méthodologie suivie était basée sur la vérification des hypothèses de la partie théorique, le groupe scolaire étudié a fait l'objet de simulations thermodynamiques à l'aide de logiciel ArchiCADet et son Extension EcoDesigner STAR dans le but d'identifier dans un premier lieu que la forme du bâtiment a un effet important sur la consommation énergétique selon la zone climatique choisie et qui confirme qu'elle consomme plus ou moins, on a pris toutes les caractéristiques du cas d'étude et les appliquer sur toutes les modèles proposés et on a fixé tous les paramètres afin de mesurer le seul effet ,la forme. Puis dans un deuxième temps d'étudier l'impact de la compacité de la forme sur la consommation énergétique.

Les conclusions de cette étape furent assez satisfaisantes et elles n'ont fait que confirmer les hypothèses préalablement émises, le plan type de ministère (la forme existante) n'est pas approprié pour le climat tempéré. Dont, on peut réaliser une économie d'énergie par le choix de la forme du plan de l'ensemble la moins compacte. Cette économie arrive jusqu'à 26 % de la consommation globale annuelle par rapport au plan de modèle existant. Cela conforte notre hypothèse selon laquelle, la compacité de la forme n'est pas la principale stratégie d'efficacité énergétique pour le climat tempéré.

Recommandations :

Afin de réduire la consommation énergétique des bâtiments éducatifs, on se recommande de :

- Prendre en compte les différentes échelles climatiques et bien réfléchir à la forme dans chaque nouvelle conception.
- Eviter la forme compacte dans le climat tempéré, car elle n'est pas la forme conseillée dans ce type de climat.
- Evaluer l'espace scolaire par les différents responsables architecte, sociologue, professeur et psychologue afin de prendre conscience de l'importance de l'aspect qualitatif sur la réussite de l'élève.

Bibliographie :

Dictionnaire :

Centre national des ressources textuelles et lexicales, (2020).

Le petit Larousse (2020) <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/petit/>.

Web bibliographie :

Alain Borie et al, (2006) « forme et déformation : des objets architecturaux et urbains », Editions parenthèses, Marseille, p20.

Aladar Olgyay, (1963), Design with Climat : Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism

Assan Ramaon (2000), Collectif coordonné.

Bernard LAPONCHE. (2010) L'énergie dans le monde : priorité à l'efficacité énergétique.

DIONNET, D. (Octobre 2012) La certification des produits de construction européens, Comprendre de la 6e Matinée Décennale SCOR, Paris.

Hugues Boivin (2007), LA VENTILATION NATURELLE Développement d'un outil d'évaluation du potentiel de la climatisation passive et d'aide à la conception architecturale. Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval.

IGALENS. J (2009), Responsabilité sociale de l'entreprise : Qui certifie les certificateurs ? Qui contrôle les contrôleurs ? Toulouse.

Jean-Louis IZARD (Juillet 2006) le coefficient de forme du bâtiment, ENSA-Marseille.

K. Parson. (2003), "Human thermal environments". London : 2nd édition, cite in Thellier, F. « Modélisation du comportement thermique de l'homme et de son habitat, une approche de l'étude du confort », étude réalisée à l'université Paul Sabatier de Toulouse, France. 1989.

Liébard, A. et De Herde, A. (2005), « Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques ». Ed. Le Moniteur. Paris 2005.

Mathilde Chambier, (2018), L'évolution de l'architecture scolaire : évolution de l'enseignement, évolution des bâtiments.

Mazalto Maurice (2007), Architecture scolaire et réussite éducative, Fabert.

Meirieu Philippe. (2004). École aujourd'hui. Octaèdre de Barcelone. Première partie

MUSSET M. (2005/05), l'effet de l'espace scolaire sur l'apprentissage.

R. Bacon (1974), Underwater exploration at Dunwich, Suffolk.

S. Rostam, (2005). Service life design of concrete structures-a challenge to designers as well as to owners.

Salomon, T et Bedel, S., (2004) « La maison des [méga] watts, Le guide malin de l'énergie chez soi ». Ed. Terre vivante. Mens.

Said Noha, (2010), »la notion de confort thermique : entre modernisme et contemporain », Ecole National supérieur d'Architecture de Grenoble, cours en ligne.

Tebbouche, H. (2010). L'impact de la Qualité Environnementale des Établissements Scolaires sur la Performance du Système Éducatif en Algérie, Cas des Lycées de la Ville de Jijel. (Thèse de magistère). Université Mohammed Seddik Benyahia, Jijel. Repéré à URL : https://www.researchgate.net/profile/Hocine_Tebbouche.

Thellier, Françoise. (1999) « L'homme et son environnement thermique – Modélisation ». Université de Paul Sabatier de Toulouse.

Thierry LAFFONT (19 juin 2008), Énergies renouvelables et quartiers durables.

Revue Scientifiques :

APRUE, (2020). « Consommation énergétique finale de l'Algérie : chiffres clés années 2019 ». Revue Ministère de l'énergie, Alger.

Aulis Blomstedt, (1961) le carrée bleu, Ville d'édition c / o DS, 24, rue Saint Antoine, 75004 Paris
http://www.lecarrebleu.eu/PDF_INTERA%20COLLEZIONE%20LCB/FRAPN02_CARR_1961_004.pdf

Alastair Blyth, (décembre 2013) « Perspectives pour les futurs espaces scolaires », Revue internationale d'éducation de. Sèvres.

Alessandro Rigolon (2010), »les plans de construction des écoles européennes du XXI ème siècle :présentation » centres pour les environnements pédagogiques efficaces,2010/03E dition OCDE,Paris.

Cantin, R. et al. (2005) « Complexité du confort thermique dans les bâtiments » in actes du 6ème congrès européen de science des systèmes, tenu à Paris.

Maurice Mazalto et Luca Paltrinieri, (2013) « Introduction : Espaces scolaires et projets éducatifs », Revue internationale d'éducation de Sèvres.

NEUF : « Climat intérieur/ confort, Santé, confort visuel » Revue européenne d'architecture N°77, novembre - décembre 1978.

Sites internet et références :

Ministère de l'éducation nationale,
<https://www.education.gov.dz/fr/systeme-educatif-algerien>.

BILAN ENERGETIQUE NATIONAL - ANNEE 2019 « juillet 2020 ».
https://www.energy.gov.dz/Media/galerie/bilan_energetique_national_2019_5f7b107553bcd.pdf

L'architecture bioclimatique
<https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Architecture-bioclimatique.html>.
<https://www.azenco.fr/larchitecture-bioclimatique>.

Autres :

Arrêté interministériel du 15 mai 1988 portant modalités d'exercice et de rémunération de la maîtrise d'œuvre en bâtiment.

Bureau d'étude DAHOU.

Dominique Gauzin -Müller, 2006.conference-de-dominique-gauzin-m-ller-vers-une-architecture-et-un-urbanisme-durables-ecologiques-et-solidaires.pdf.

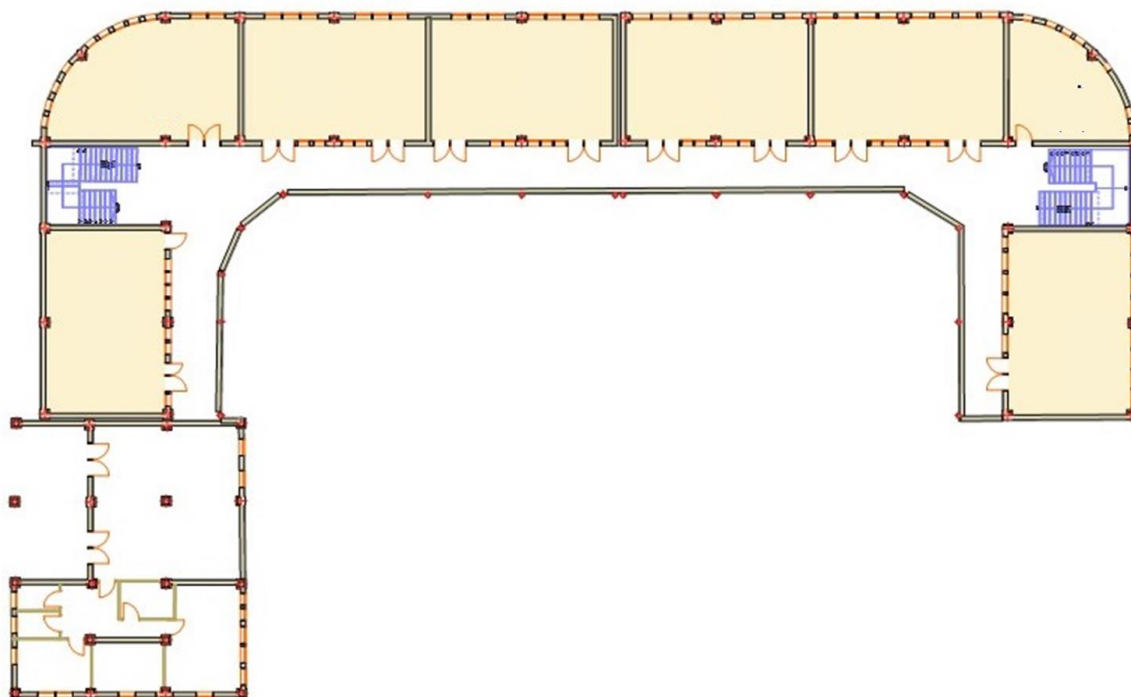
GOOGLE EARTH

Guidebatimentdurable. Brussels 2021.

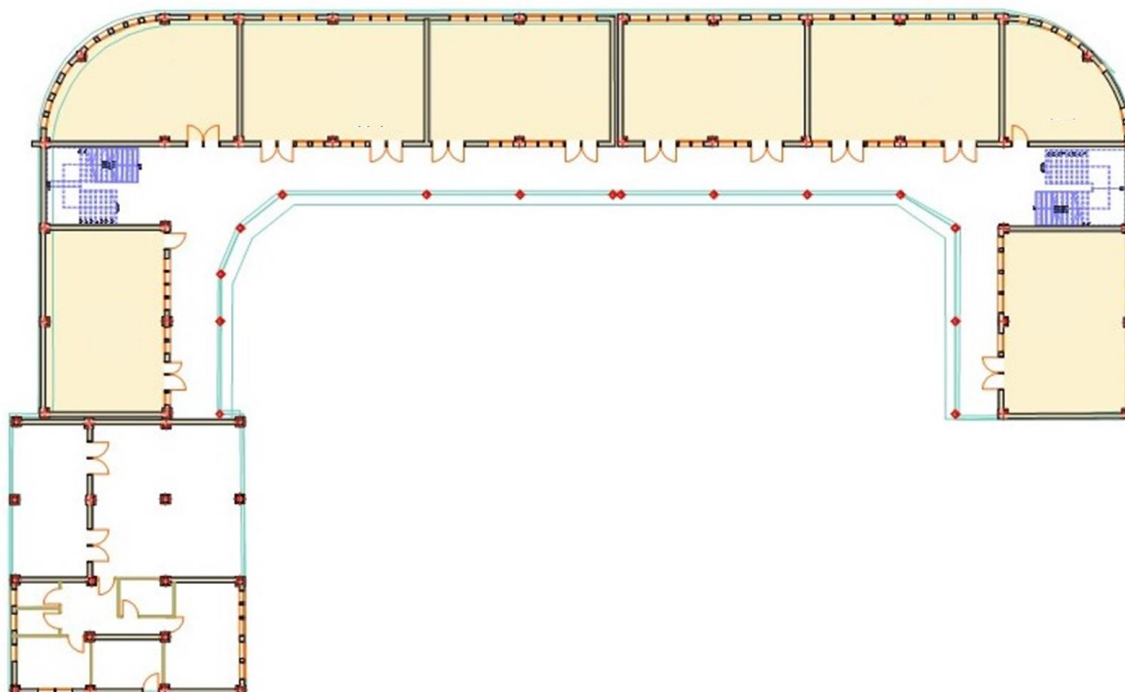
Manuel de remplissage du livret statistique destiné à l'éducation primaire, (2020). Ministère de l'éducation nationale.

Station météorologique de Dar-El-Beida.

Les plans de groupe scolaire



Plan groupe scolaire RDC



Plan groupe scolaire R+1

Les Résultats de simulation :

Estimation de performance énergétique valeurs clefs

Forme existante.

Key Values

General Project Data			Heat Transfer Coefficients		U value	[W/m ² K]
Project Name:	le groupe scolaire elwarth...		Building Shell Average:	3,41		
City Location:	alger		Floors:	--		
Latitude:	36° 45' 8" N		External:	3,51 - 3,51		
Longitude:	3° 2' 31" E		Underground:	--		
Altitude:	37,00	m	Openings:	2,94 - 3,28		
Climate Data Source:	DZA_Alger...00_IWEC.epw		Specific Annual Values			
Evaluation Date:	13/02/2021 23:31		Net Heating Energy:	36,46	kWh/m ² a	
Building Geometry Data			Net Cooling Energy:	8,27	kWh/m ² a	
Gross Floor Area:	1045,82	m ²	Total Net Energy:	44,73	kWh/m ² a	
Treated Floor Area:	933,31	m ²	Energy Consumption:	96,55	kWh/m ² a	
External Envelope Area:	1221,44	m ²	Fuel Consumption:	88,44	kWh/m ² a	
Ventilated Volume:	3135,92	m ³	Primary Energy:	273,77	kWh/m ² a	
Glazing Ratio:	17	%	Fuel Cost:	--	GBP/m ² a	
Building Shell Performance Data			CO ₂ Emission:	19,10	kg/m ² a	
Infiltration at 50Pa:	2,65	ACH	Degree Days			
			Heating (HDD):	1785,85		
			Cooling (CDD):	2430,97		

1^{er} modèle- plan à cours fermée.

Key Values

General Project Data			Heat Transfer Coefficients		U value	[W/m ² K]
Project Name:	le groupe scolaire elwarth...		Building Shell Average:	3,43		
City Location:	alger		Floors:	1,54 - 1,54		
Latitude:	36° 45' 8" N		External:	3,51 - 3,51		
Longitude:	3° 2' 31" E		Underground:	--		
Altitude:	37,00	m	Openings:	2,94 - 3,28		
Climate Data Source:	DZA_Alger...00_IWEC.epw		Specific Annual Values			
Evaluation Date:	13/02/2021 02:55		Net Heating Energy:	27,75	kWh/m ² a	
Building Geometry Data			Net Cooling Energy:	5,20	kWh/m ² a	
Gross Floor Area:	1110,46	m ²	Total Net Energy:	32,95	kWh/m ² a	
Treated Floor Area:	986,23	m ²	Energy Consumption:	71,70	kWh/m ² a	
External Envelope Area:	1458,51	m ²	Fuel Consumption:	66,57	kWh/m ² a	
Ventilated Volume:	3313,74	m ³	Primary Energy:	204,98	kWh/m ² a	
Glazing Ratio:	14	%	Fuel Cost:	--	GBP/m ² a	
Building Shell Performance Data			CO ₂ Emission:	14,38	kg/m ² a	
Infiltration at 50Pa:	2,79	ACH	Degree Days			
			Heating (HDD):	1785,85		
			Cooling (CDD):	2430,97		

2^{ème} modèle- plan forme U.

Key Values

General Project Data			Heat Transfer Coefficients		U value	[W/m ² K]
Project Name:	le groupe scolaire elwarth...		Building Shell Average:	3,37		
City Location:	alger		Floors:	1,54 - 1,54		
Latitude:	36° 45' 8" N		External:	3,51 - 3,51		
Longitude:	3° 2' 31" E		Underground:	--		
Altitude:	37,00	m	Openings:	2,94 - 3,28		
Climate Data Source:	DZA_Alger...00_IWEC.epw		Specific Annual Values			
Evaluation Date:	13/02/2021 21:55		Net Heating Energy:	27,42	kWh/m ² a	
Building Geometry Data			Net Cooling Energy:	6,82	kWh/m ² a	
Gross Floor Area:	1074,32	m ²	Total Net Energy:	34,24	kWh/m ² a	
Treated Floor Area:	944,02	m ²	Energy Consumption:	72,98	kWh/m ² a	
External Envelope Area:	1270,38	m ²	Fuel Consumption:	66,24	kWh/m ² a	
Ventilated Volume:	3171,90	m ³	Primary Energy:	205,62	kWh/m ² a	
Glazing Ratio:	25	%	Fuel Cost:	--	GBP/m ² a	
Building Shell Performance Data			CO ₂ Emission:	14,31	kg/m ² a	
Infiltration at 50Pa:	3,30	ACH	Degree Days			
			Heating (HDD):	1785,85		
			Cooling (CDD):	2430,97		

Estimation de performance énergétique (Consommation énergétique par cibles)

Forme existante.

Energy Consumption by Targets

Target Name	Energy			CO ₂ Emission kg/a
	Quantity MWh/a	Primary MWh/a	Cost GBP/a	
Heating	27	82	0	5912
Cooling	5	5	0	15
Service Hot-Water	0	0	0	0
Ventilation Fans	29	87	0	6270
Lighting & Appliances	9	27	0	1983
Total:	70	202	NA	14180

1^{er} modèle- plan à cours fermée.

Energy Consumption by Targets

Target Name	Energy			CO ₂ Emission kg/a
	Quantity MWh/a	Primary MWh/a	Cost GBP/a	
Heating	34	102	0	7349
Cooling	7	8	0	33
Service Hot-Water	0	0	0	0
Ventilation Fans	39	119	0	8570
Lighting & Appliances	8	26	0	1876
Total:	90	255	NA	17830

2^{ème} modèle- plan forme U.

Energy Consumption by Targets

Target Name	Energy			CO ₂ Emission kg/a
	Quantity MWh/a	Primary MWh/a	Cost GBP/a	
Heating	25	77	0	5592
Cooling	6	6	0	15
Service Hot-Water	0	0	0	0
Ventilation Fans	27	83	0	6001
Lighting & Appliances	8	26	0	1898
Total:	68	194	NA	13507