

4-720-887-EX-1

République algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université de Blida I
Institut d'architecture et d'urbanisme



Mémoire de master
Option : architecture et efficacité énergétique

L'impact de la forme des établissements scolaires en Algérie sur la consommation énergétique

Cas d'étude : école primaire à Msila

Travail réalisé par :
TAALLAH Abdelmalik

Sous l'encadrement de : Mr : SEMAHI Samir
Assister par : Mr: MHAMDI Hichem

Devant un jury composé de :

Président : Dr. KHELIFI Lamia. Maître de conférences à l'université de Blida.

Examineur : Mme : MAACHI Ismahan. Maître-assistant "A" à l'université de Blida.

Année universitaire 2016-2017

A ma famille
A mes Chers...

Remerciements :

Et ma réussite ne dépend que d'Allah, en lui je place ma confiance, et c'est vers lui que je reviens repentant.

Avant tout et après tout ; je remercie le dieu ; ma guidé et m'aidé à accomplir mon travail. Je souhaite remercier ma famille infiniment pour son soutien et sa patience.

Je tiens à remercier mon encadrant Mr. Samir SEMAHI dont les conseils éclairés m'ont permis de mener à bien cette étude, je remerciais tous mes enseignants, mon ami BARA Billal, et mes chers qui me soutient, m'aider, durant toute cette difficile période de ma vie, merci infiniment.

Je remercie enfin tous et toute quelle était une source d'information ou qui était participée dans cette recherche. Et tous ceux qui ont pu m'aider, dans les moments les plus difficiles et les plus délicats, et dont le soutien durant cette année a été essentiel pour me permettre d'achever ce travail.

Résumé :

Depuis l'indépendance jusqu'à présent, la construction en Algérie suit des types proposés par les différents ministères. Dont, l'établissement scolaire fait partie de ces constructions et soumises à l'exécution d'un plan type proposé par le ministère de l'éducation nationale. L'opération de l'adaptation est conséquente d'un déficit financier ou d'une nécessité à une production importante et rapide en infrastructure scolaire.

Le demandé instamment de rationaliser l'utilisation de l'énergie dans les établissements scolaires (au détriment du confort thermique de l'élève majoritairement); simultanément avec la reproduction du plan type dans différentes zones climatiques, nous a mené à s'interroger sur la forme la plus appropriée pour notre zone climatique et la différence entre cette forme et celle du plan type en matière de la consommation énergétique.

Pour répondre à ce questionnement, nous avons procédé à l'estimation de la consommation énergétique d'une école typique existante située à Msila et trois autres formes que nous avons proposées à travers la simulation thermique dynamique.

Les résultats obtenus attestent la défaillance du plan type du ministère de l'éducation dans la procuration d'une efficacité énergétique par rapport les formes compactes. Ce travail a visé aussi à connaître le rôle important de l'amélioration de la forme du plan type vis-à-vis le programme d'efficacité énergétique algérien 2015-2030.

Mot clés : forme, établissement scolaire, estimation, consommation énergétique, zone semi-aride, Msila.

Abstract :

After the independence till nowadays, the construction in Algeria is following proposed planes by several ministries where school facilities are considered as a part of those buildings, which are subjected in turn to completion following a proposed plan by the ministry of education. The operation of the adaptation is the result of a fiscal deficit or a necessity for an important and speed production of school infrastructure

Urge to the rationalization of energy use in school facilities (at the expense of thermal comfort of students often) synchronization with the reuse of typical form in varied climatic zones; this prompted us to wonder about the most suitable form of our climatic zone. And the difference between this form and the typical form in side of energy consumption.

And to answer these questions, we resorted to the estimation of energy consuming of an achieved typical school, located in Msila, and for another three forms that we proposed, through thermal dynamic simulation.

The result confirmed the failure of the typical form of the Ministry of Education in providing energy efficiency in comparison with the compact shapes.

This work aims also at knowing the important role to improve the typical form towards the Algerian energy efficiency program 2015-2030

Key words: form, school facilities, estimation, energy consumption, semi-arid zone, Msila.

ملخص :

منذ الاستقلال إلى الآن، يتبع البناء في الجزائر مخططات مقترحة من طرف مختلف الوزارات. حيث تعتبر المنشآت المدرسية جزء من تلك البنايات والتي تخضع بدورها للإنجاز باتباع مخطط مقترح من وزارة التربية الوطنية. عملية التكيف هذه هي نتيجة للعجز المالي أحيانا، أو لحاجة مهمة وسريعة لإنجاز هياكل قاعدية مدرسية. إن الحث على عقلنة استعمال الطاقة في المنشآت المدرسية (على حساب الراحة الحرارية للتلاميذ غالبا) والمتزامن مع إعادة استعمال المخطط النمطي في مناطق مناخية مختلفة، دفعنا إلى التساؤل عن الشكل الأكثر مناسبة لمنطقتنا المناخية، والفرق بين هذا الشكل والشكل النمطي من ناحية الاستهلاك الطاقوي.

وحتى نجيب على هذه التساؤلات التجأنا إلى تقييم الاستهلاك الطاقوي لمدرسة نمطية منجزة تقع بولاية المسيلة، ولثلاثة أشكال أخرى اقترحناها، وذلك من خلال المحاكاة الحرارية الديناميكية.

النتيجة المتحصل عليها اثبتت فشل المخطط النمطي لوزارة التربية في توفير الفاعلية الطاقوية مقارنة مع الأشكال المتضامة. ويهدف هذا العمل أيضا إلى معرفة الدور المهم لتحسين شكل المخطط النمطي تجاه برنامج الفعالية الطاقوية الجزائري 2015-2030.

الكلمات الدلالية: الشكل، المؤسسات المدرسية، تقييم، استهلاك الطاقة، المناطق شبه الجافة، المسيلة.

Remerciements :	II
Résumé :	III
Abstract :	IV
ملخص :	V
Introduction générale :	2
Contexte et objet de la recherche :	2
L'intérêt :	3
Problématique de la recherche :	4
Hypothèses :	5
Objectifs :	5
Méthodologie de travail :	6
Structure du mémoire :	6
I. Premier Chapitre : Cadre Théorique de L'étude	8
Première Section : Préliminaire	8
I.1. Introduction :	8
I.2. Définition des concepts de l'étude :	8
I.2.1. Forme du bâtiment :	8
I.2.1.1. Typologie des bâtiments :	9
I.2.1.2. Compacité du bâtiment (coefficient de la forme) :	9
I.2.2. Etablissement et architecture scolaire :	10
I.2.2.1. Le système éducatif en Algérie :	10
a. L'éducation préparatoire :	11
b. L'enseignement fondamental :	11
c. L'enseignement secondaire général et technologique :	11
I.2.2.2. Etablissements publics d'éducation et d'enseignement :	11
I.2.3. Espace scolaire :	12
I.2.4. Etude d'adaptation : Plan-type, modèle-type, Bâtiment-type :	13
I.2.5. Confort :	13
I.2.5.1. Les paramètres principaux du confort thermique :	13
I.2.5.2. Paramètres liées à l'environnement :	14
I.2.5.3. Paramètres liées à l'individu :	14
I.2.6. Consommation énergétique :	15

<i>1.2.6.1. La répartition de la consommation du secteur tertiaire par branche d'activité :</i>	16
<i>1.2.6.2. Consommation d'énergie en Algérie :</i>	16
a. Consommation nationale :	16
b. Consommation finale :	16
<i>1.2.6.3. Consommation d'une école en énergie :</i>	17
<i>1.2.6.4. Exemple de consommation de quelques écoles :</i>	18
a. Ecole primaire Ben Makhfi Mohammed (cité 108 lots – Msila) :	18
1.2.7. Efficacité énergétique :	20
<i>1.2.7.1. La norme ASHRAE 90.1 :</i>	20
<i>1.2.7.2. Les outils de simulation :</i>	20
a. Les outils de simulation des stratégies passives :	21
b. Les outils de simulation des stratégies actives :	21
Deuxième Section : Etat de l'art.....	23
1.3. Proposition des pistes de réponses à la problématique :	23
1.3.1. Réglementation :	23
<i>1.3.1.2. Quelques textes réglementaires :</i>	23
a. Textes relatifs à la maîtrise de l'énergie :	23
b. Textes relatifs au développement durable :	24
c. Textes relatifs au fond national pour la maîtrise de l'énergie :	24
d. Textes relatifs à l'APRUE :	24
e. Textes relatifs au ministère de l'habitat et de l'urbanisme :	24
f. Programme national de l'efficacité énergétique : Définition, Date, et Enjeux.....	25
<i>1.3.1.3. Plan d'action en matière d'efficacité énergétique :</i>	25
a. Pour le secteur du bâtiment :	25
<i>1.3.1.4. Synthèse :</i>	26
1.3.2. La forme du bâtiment et architecture scolaire :	27
<i>1.3.2.1. L'architecture scolaire en Algérie :</i>	27
a. La réglementation de la construction scolaire :	28
b. Caractéristiques du bâtiment :	28
c. Caractéristiques architecturales de la salle de classe :	29
d. Synthèse :	30
1.3.2.2. L'école de demain :	31
a. Aperçu historique :	32
b. Caractéristiques de l'architecture scolaire contemporaine :	33
<i>1.3.2.3. Synthèse :</i>	35
1.3.3. Climat et forme :	37
<i>1.3.3.1. L'impact sur l'architecture :</i>	37
<i>1.3.3.2. Recommandations liées aux climats :</i>	39

a. L'insertion dans le climat équatorial :	40
b. L'insertion dans le climat de mousson :	41
c. L'insertion dans le climat tropical sec :	42
d. L'insertion dans le climat désertique :	43
e. L'insertion dans le climat chaud d'altitude :	44
f. L'insertion dans le climat méditerranéen :	45
1.3.3.3. Synthèse :	46
1.4. Conclusion :	47
II. Deuxième Chapitre : Cadre Pratique	49
Première Section : Méthodologie.....	49
II.1. Introduction :	49
II.2. La méthodologie de travail :	49
II.2.1. Critères de choix de la wilaya de Msila :	49
II.2.2. Présentation de la wilaya de Msila :	50
II.2.2.1. Situation géographique :	51
a. Contexte national :	51
b. Contexte régional :	51
c. Contexte local du site :	52
d. Le relief :	52
II.2.2.3. Les données climatiques :	52
a. Zones climatiques :	52
b. La température de l'air :	52
c. Les vents :	53
d. L'humidité relative :	54
e. Les précipitations :	54
f. L'ensoleillement :	55
II.2.2.4. L'indice d'aridité annuel de la ville :	55
II.2.3. Choix et présentation du cas d'étude :	56
II.2.3.1. Plan masse de l'école :	57
II.2.3.2. Matériaux :	57
II.2.1.3. Caractéristiques des salles de classe :	58
a. Dimensions :	59
b. Orientation :	59
c. Degré d'ouverture :	59
d. Nombre des élèves :	60
II.3. L'outil de simulation (Présentation d'EcoDesigner STAR avec ArchiCAD) :	60
II.3.1. Critères du choix d'EcoDesigner STAR (version 4.6.16) :	61
II.3.1.1. Les avantages du logiciel :	62

II.4. Données de bases :	64
II.4.1. L'occupation par les personnes :	64
a. Densité d'occupation :	64
b. Profil d'occupation :	65
II.4.2. Système de ventilation, chauffage et de climatisation :	65
II.4.3. Les données météorologiques :	65
II.5. Variables indépendantes :	66
II.5.1. Forme du bâtiment :	66
a. Construction des formes sous ArchiCAD :	66
b. Description des caractéristiques des parois, planchers et des ouvertures selon les données de bases :	66
II.5.1. Les types de modèles conceptuels proposés à la simulation :	67
II.5.1.1. Le model du cas d'étude (modèle existant) :.....	68
II.5.1.2. Plan de l'ensemble à atrium collectif (1 ^{er} modèle) :.....	68
II.5.1.3. Plan de l'ensemble à galerie pédagogique collective (2 ^{me} modèle) :.....	69
II.5.1.4. Plan du groupe de bâtiments, Alignement d'unités (3 ^{me} modèle) :	69
Deuxième Section : Présentation et Analyse des Résultats des Simulations	72
II.6. Variable dépendante :	72
II.6.1. Consommation énergétique :	72
II.6.2. L'interprétation des résultats obtenus :	72
II.6.2.1. Impact de la forme sur la consommation énergétique :	72
a. La consommation énergétique globale annuelle :	73
b. La consommation annuelle d'énergie par cibles :	73
1. La consommation en chauffage :	74
2. La consommation en climatisation :	75
3. La consommation en eau chaude sanitaire :	76
4. La consommation en éclairage et en équipements :	77
II.6.2.2. La compacité de la forme et la consommation énergétique :.....	77
a. Calcul du coefficient de forme (Cf) :	77
b. L'impact de la compacité sur la consommation :	79
1. Rapport consommation globale annuelle et compacité :	79
2. Rapport consommation en chauffage et compacité :	80
3. Rapport consommation en climatisation et compacité :	81
4. Rapport consommation en eau chaude sanitaire et compacité :	82
5. Rapport consommation en éclairage & équipements et compacité :	83
II.6.2.3 Comparaison d'impact des variables étudiées :	83
II.6.3. Comparaison des résultats de simulation avec les consommations réelles :	84
II.6.3.1. Consommation réelle de l'école en 2015 :	85
a. Réalité de consommation :	86

b. Calcul de la consommation réelle en énergie par an :	86
c. Des défis contraignent la conformité des calculs de simulation :	86
II.6.3.2. Energie et monnaie économisés :	88
a. La position par rapport le programme de l'efficacité énergétique algérien 2015-2030 :	88
II.7. Conclusion :	89
Conclusion générale :	92
<i>Conclusion :</i>	<i>92</i>
<i>Recommandations :</i>	<i>94</i>
<i>Limites de la recherche :</i>	<i>94</i>
<i>Perspective de la recherche :</i>	<i>95</i>
Bibliographie	96
Liste des illustrations :	101
<i>Liste des figures :</i>	<i>101</i>
<i>Liste des tableaux :</i>	<i>102</i>
Annexes	103
<i>Annexe A : Plan type proposé par le ministère de l'éducation national.</i>	<i>103</i>
<i>Annexe B : Les factures du gaz et d'électricité de l'école Ben Makhfi Mohammed ; pour l'année 2016.</i>	<i>105</i>
<i>Annexe C : Les résultats des simulations.</i>	<i>107</i>
<i>Annexe D : Les factures du gaz et d'électricité de l'école Elgazali ; pour l'année 2015.</i>	<i>110</i>

Introduction générale

Introduction générale :

Contexte et objet de la recherche :

L'homme antique pour atteindre son but de l'habiter ; essaya de créer une maison dans les montagnes, les roches, le glace, etc. il conçut sa maison d'une manière très simple qu'il soit provenu de sa nature, de son interaction avec son environnement et qui satisfait ses besoins... Ces formes qu'il se soit caractérisé particulièrement par sa primitivité comme des formes de pyramide, dôme, cône, carré... etc. dont elle ait créé dans différentes zones dans il ait habité et par les matériaux disponibles. De ce fait « tous les exemples de l'ancienne architecture nous donnent une richesse architecturale pour s'adapter au climat local »¹.

Le monde jusqu'à nos jours et depuis le 19e siècle connaît une révolution dans le domaine de la construction, notamment avec l'innovation de diverses énergies primaires ; qui se conduisent à une concurrence très forte afin de développer tous les domaines touchant la vie humaine. La concurrence d'autre part touche l'architecture en général au but de créer des nouveautés, et en forme architecturale particulièrement. Du reste, l'essentiel ici c'est de réaliser l'œuvre, quelle que soit sa forme et avec les normes de confort des occupants, sans penser à l'énergie puisqu'elle est disponible et il n'a aucune mal conséquence de son utilisation.

Cette révolution accompagne une forte croissance de la population et le rythme de consommation et de besoin en énergie –de ses diverses formes- continuer à s'augmente ces 40 dernières années. Dans ce cadre et depuis la fin des années 1980 des études ont été menées ; ce qui suit aux changements climatiques observés sur la planète. Ces études ont reconnu officiellement l'existence du dérèglement climatique et ont considéré l'accumulation des (GES)² – résultant de la consommation excessive de l'énergie- comme la cause principale du réchauffement climatique. En effet, les bâtiments jusqu'à maintenant sont responsables de 41% de la consommation d'énergie primaire mondiale et jusqu'à un tiers des émissions de GES (NU)³, 2007.

¹ SAID Noha, (2010), « La notion de confort thermique : Entre modernisme et contemporain », Ecole Nationale Supérieur d'Architecture de Grenoble, Cours, [en ligne], Url : www.grenoble.archi.fr/cours-en-ligne/said/confort-thermique, p 11.

² GES : Gaz à effet de serre.

³ N.U : Nation Unies.

L'intérêt :

Plus récemment en 2011, le gouvernement algérien présenté un intérêt important pour la maîtrise de l'énergie et a réaffirmé la volonté de l'Algérie d'agir contre le réchauffement climatique, par le lancement d'un programme de développement des énergies renouvelables et d'efficacité énergétique (PNME), et l'actualiser en mai 2015. Ce dernier, vise à réaliser des économies d'énergie à l'horizon 2030 de l'ordre de 63 millions de (TEP)⁴, pour l'ensemble des secteurs (bâtiment et éclairage publique, transport, industrie), et permettra de réduire les émissions de CO₂ de 193 millions de tonnes (ME)⁵, 2015⁶.

Selon le ME, dans son rapport annuel, le secteur du bâtiment (ménage et autres) en Algérie c'est un secteur énergivore ; dont il responsable d'environ 42.7 % de l'énergie finale consommée⁷. De ce fait, le cadre de l'architecture scolaire est un des secteurs clés dans lequel on doit intervenir afin d'effectuer une forte réduction de consommations d'énergie pendant ses phases d'exploitation, avec les niveaux de confort exiger de ces milieux. Ces milieux peuvent être considérés comme une construction utilisée pour accueillir d'une activité éducative qui doit facilite l'apprentissage de l'élève - qui considère comme l'utilisateur principal de construction - d'une part, et qui doit offrir aux enseignants un milieu de travail favorable d'autre part⁸. Le tableau 1 ci-dessous représente la consommation d'énergie relative au patrimoine des

Infrastructures	Part (%)
Écoles et crèches	34,10
Mosquées et autres bâtiments de culte	22,30
Infrastructures administratives	19,70
Infrastructures culturelles	5,30
Infrastructures sportives	14,10
Infrastructures commerciales	0,30
Autres	4,30

Figure 1. Répartition des consommations d'électricité dans une commune par type d'infrastructure.

Source: M. Boughedaoui, 2015

⁴ TEP : Tonne Equivalent Pétrole.

⁵ ME : Ministère de l'Énergie.

⁶ Ministère de l'énergie (2015), Le programme d'efficacité énergétique algérien (PNME) 2015-2030.

⁷ Ministère de l'Énergie, (2016), "Bilan énergétique national 2015", Alger, p 21.

⁸ Arhab Fatma, (2014), « évaluation du confort thermique dans les établissements scolaires », mémoire de magistère, EPAU, Alger, p 14.

collectivités locales, hors éclairage public. La répartition montre que la consommation est affectée principalement aux établissements scolaires⁹.

Pour contrôler les paramètres des projets, des études ont fait apparaître montrés que la forme peut avoir une influence sur la consommation de l'énergie. Alors, le présent travail concerne le développement d'une analyse pour estimer les effets de différentes formes des bâtiments scolaires sur la consommation énergétique ; afin de réduire au minimum la consommation en énergie dans ces espaces dès la phase conception.

Dans la présente recherche, les formes à étudier ont été identifiées sur la base d'une recension d'études sur le sujet. « Bien qu'ils ne reflètent pas le riche langage de l'architecture, ces modèles abstraits sont utiles pour rationaliser l'organisation générale et discuter les décisions émanant de la conception (Dudek, 2007) »¹⁰.

La recherche tentera de confirmer l'idée d'Ourghi et al. (2007) qu'ils montrent qu'il existe une forte corrélation entre la forme du bâtiment et sa performance énergétique.

Problématique de la recherche :

L'utilisation irrationnelle des énergies fossiles et ses maux effets ; conduisent à repenser strictement à la conception et les éléments de conceptions architecturales, comme la forme, l'orientation, les matériaux, les ouvertures etc. les chercheurs depuis HAWKES en 1996 puis DEPECKER et AL en 2001 ; ont étudié la relation entre la typologie du bâtiment et ses besoins en énergie.

En Algérie Jusqu'à maintenant ; le maître d'ouvrage "direction des équipements publics" représentant du ministère de l'éducation nationale ; continuent à construire des établissements scolaires en utilisant d'un plan type appliqué sur toute l'Algérie vaste ; qu'elle connue par ses climats multiples et différents. Tout cela fait à travers l'application de l'article 11 du décret législatif N° 94-07 ; qui assure que L'étude de l'œuvre architecturale conçue dans le cadre d'un contrat entre un maître d'ouvrage et un architecte est la propriété du maître de l'ouvrage. Mais

⁹ Dr Menouer Boughedaoui, (2015), « Algérie Rapport D'étude », Cleaner Energy Saving Mediterranean Cities (CES-MED), Alger, p 48.

¹⁰ Esteban Emilio Montenegro Iturra, (2011), « Impact de la configuration des bâtiments scolaires sur leur performance lumineuse, thermique et énergétique », Mémoire présenté pour l'obtention du grade de Maître ès sciences, Faculté D'aménagement, D'architecture Et Des Arts Visuels, Université LAVAL, Québec, p 19.

Méthodologie de travail :

Pour réaliser l'estimation et l'analyse énergétique, on propose un plan scientifique qui permet et faciliter le travail dans la conception énergétique de bâtiments. Pour cela, on étudiera tout d'abord la consommation énergétique dans les projets architecturaux scolaires comme un fait, puis ; on suppose des hypothèses, enfin ; on essaye, de donner des solutions utiles destinées à être utilisées par la maîtrise d'œuvre d'un projet de construction. Cette recherche est fondée sur une étude comparative entre des différentes formes des établissements scolaires. Donc, l'évaluation sera effectuée par la simulation thermique dynamique.

Structure du mémoire :

Le travail de ce mémoire sera discuté sur deux chapitres. En premier chapitre ; on présente les définitions et les caractéristiques de divers termes liés au thème dans la première section. Dans la deuxième section, 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 énergétiques de ces derniers.

Le deuxième chapitre traite la méthode d'estimation de la performance énergétique de différents modèles proposées à l'aide d'un outil de simulation numérique, dont ; l'estimation est effectuée dans l'environnement d'ArchiCAD et EcoDesigner STAR. La première section présente la préparation des formes proposées à la simulation, ainsi ses données de base et ses caractéristiques, et la deuxième section est consacrée aux résultats de la simulation.

Premier Chapitre : Cadre Théorique de L'étude.

Première Section : Préliminaire (Définition et Caractéristiques des Concepts de L'étude).

I. Premier Chapitre : Cadre Théorique de L'étude

Première Section : Préliminaire

I.1. Introduction :

Pour commencer, le cadre général du présent travail concerne l'étude d'impact de la forme de la construction scolaire sur sa consommation énergétique. Le premier chapitre de ce travail a pour but de préciser le fait de l'étude et compte deux sections, un premier pour les définitions avec précision des concepts de l'étude des deux parties de la problématique (concepts et caractéristiques liées à la forme architecturale, et autres liées à l'énergie). Puis la deuxième section concerne la pensée des auteurs (académiques et professionnels) qui s'intéressent à notre problématique dans les sujets de la forme et l'appropriation à sa fonction, les réglementations entre l'efficacité et la suffisance ou non. Et la forme et sa relation avec le climat.

Enfin, à partir de ces différentes discussions du problème posé, on va essayer de proposer quelques pistes de réponses à notre problématique.

I.2. Définition des concepts de l'étude :

L'architecture en général a ses propres sens pour plusieurs concepts que sont utilisés pour tous les sujets de la vie, de ce fait, il faut préciser quelques concepts utilisés durant cette étude et quelques caractéristiques et historiques aussi qui peuvent nous aider à comprendre mieux les différents parties de cette recherche. Parmi ces concepts, on trouve les termes liés à la forme architecturale comme la typologie, l'adaptation, l'espace scolaire, les réglementations, et le climat, le confort, la consommation et l'efficacité énergétique qui sont liées à l'énergie.

I.2.1. Forme du bâtiment :

H. Focillon cita un sens très large de la forme dans son livre "vie des formes" ; « Balzac écrit dans un de ses traités politiques : Tout est forme, et la vie même est une forme »¹², d'ailleurs le son, les paroles et la musique ont ses propres formes. Mais le plus connu et le plus pratique c'est la définition de Larousse : « organisation des contours d'un objet ; structure, configuration », A. Borie et Al ont affirmé que « les Byzantins ou chez les baroques, jusqu'à Bruno Zevi, qui semble

¹² Henri Focillon, (1934), « Vie des formes », Édition électronique (2002) réalisée à partir du livre d'Henri Focillon, Vie des formes, 1943, 7^e édition, (1981), 131 pages, Québec, p 06.

d'ailleurs avoir une prédilection particulière pour les architectures précitées, et qui définit les formes architecturales comme une structuration de l'espace interne (l'espace extérieur étant, lui aussi, un autre dedans) »¹³. Donc "La forme est la structure de l'espace le rendant identifiable" ; est la définition qui on va le concéder pour la forme durant cette recherche.

Cette dernière conduira forcément à définir aussi le bâtiment, où S.G. Beltrán et Al ont nous donnent cette précise définition « un bâtiment est une construction artificielle utilisée pour accueillir des personnes ou des activités. L'enveloppe externe (c'est-à-dire le sol, le toit et les murs extérieurs) entoure complètement l'édifice et lui confère ainsi son microclimat intérieur »¹⁴. Ou ; en bref « toute construction destinée à servir d'abri et à isoler »¹⁵.

I.2.1.1. Typologie des bâtiments :

« Science de l'analyse et de la description des formes typiques d'une réalité complexe, permettant la classification »¹⁶. Le ministère de l'éducation national classe les écoles en quatre types selon ses capacités ; de type A (3 Salle de classe "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 [...] »¹⁷.

I.2.1.2. Compacité du bâtiment (coefficient de la forme) :

Au début des recherche sur l'efficacité énergétique des bâtiments ; parmi les premières notions qui apparurent ; est la compacité d'un bâtiment qui « représente le rapport entre le volume habitable et l'ensemble des surfaces de déperdition. Les pertes sont donc d'autant plus réduites que ces surfaces sont optimisées par rapport au volume habitable. La réduction des

¹³ Alain Borie et al, (2006), « Forme et Déformation : des objets architecturaux et urbains », Éditions Parenthèses, Marseille, p 20.

¹⁴ Sergio García Beltrán et Al, (2010), « Les Bâtiments : efficacité énergétique et énergies renouvelables », Manuel de l'élève, projet IUSES et le programme Énergie intelligente pour l'Europe, p 03.

¹⁵ Centre national des ressources textuelles et lexicales, (2017), Dictionnaire en ligne, Url : <http://www.cnrtl.fr/definition>.

¹⁶ Centre national des ressources textuelles et lexicales, (2017), *Ibid*.

¹⁷ Manuel de remplissage du livret statistique destiné à l'éducation primaire, (2017), Ministère de l'éducation national.

décrochés de façades et l'optimisation de la compacité du bâtiment sont les clés de la réussite d'un projet sur le plan énergétique »¹⁸.

1.2.2. Etablissement et architecture scolaire :

Le Petit Larousse ; a donné une définition simple à l'école dans son sens le plus large, il la définit comme « Une institution chargée de donner un enseignement collectif général aux enfants d'âge scolaire et préscolaire »¹⁹.

La définition de l'école pour sa part de fonction ou de formation et très nécessaire pour notre recherche, dont cette institution prendre la définition est considérée comme « un système multidimensionnel et interactif capable d'apprendre et de changer, une plate-forme d'apprentissage ouverte qui apporte son aide à son environnement et, en échange, reçoit celle de la communauté »²⁰. L'architecture par conséquent afin d'offrir un environnement approprié et homogène pour l'application de cette mission de l'école, l'architecture des bâtiments scolaires alors « est déterminante pour la qualité de la vie qui s'y déroule. Son aménagement et son environnement ont un impact direct sur les progrès scolaires ; il est important que ces bâtiments soient exemplaires du point de vue de qualité de vie et du niveau de confort »²¹. De ce fait on doit comprendre quelques missions de l'institution scolaire à travers le système éducatif algérien.

1.2.2.1. Le système éducatif en Algérie :

Le système éducatif en Algérie n'est pas différent d'autres systèmes du monde, où le législateur algérien a organisé la scolarité et structuré le système éducatif national par l'article 27, de la Loi n° 08-04, dont ce système est allé comprendre les niveaux d'enseignement suivants : « l'éducation préparatoire ; l'enseignement fondamental, regroupant l'enseignement primaire et l'enseignement moyen et l'enseignement secondaire général et technologique »²².

¹⁸ Véronique Heulard et Al, (Sans date), « Bâtiments basse consommation », Guide électronique du Groupe de travail énergie de l'AITF et l'EDF, Disponible sur le site : <http://www.aitif.fr>, France, p 06.

¹⁹ Le Petit Larousse illustré, (2017), Dictionnaire en ligne, Url : <http://www.larousse.fr/dictionnaires>.

²⁰ Commission Européenne. DG Éducation et Culture, (2015), « Politique scolaire, Approche globale de l'école pour lutter contre le décrochage scolaire », Bruxelles, p 09.

²¹ Saddok Amel, (2016), « Étude du confort thermique des salles de cours des établissements scolaires à différentes typologies », UMMTO, Tizi Ouzou, p 29.

²² Le journal officiel algérien, n° 04-2008, Loi n° 08-04 du 23 janvier 2008 portant loi d'orientation sur l'éducation nationale, Alger, Article 27.

Parmi les principes fondamentaux de l'éducation nationale, on trouve l'article 12 qui « oblige l'enseignement pour toutes les filles et tous les garçons âgés de 6 ans à 16 ans révolus »²³.

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 »²⁴.

b. L'enseignement fondamental :

C'est où la scolarité obligatoire se déroule sur dix ans suivis par des enfants de 6 à 16 ans : L'enseignement fondamental a une durée de neuf (9) ans. Il regroupe l'enseignement primaire et l'enseignement moyen. L'enseignement primaire, d'une durée de cinq (5) ans, est dispensé dans des écoles primaires, dont l'âge d'entrée à cette école est fixé à six (6) ans révolus. En fin l'enseignement moyen, d'une durée d quatre (4) ans, est dispensé dans des collèges d'enseignement moyen²⁵.

c. L'enseignement secondaire général et technologique :

Après l'enseignement fondamental (obligatoire) les jeunes sont libres de choisir la voie qui leur convient le mieux, soit de fréquenter les formations professionnelles ou « l'enseignement secondaire général et technologique, d'une durée de trois (3) ans, est dispensé dans des lycées »²⁶.

1.2.2.2. Etablissements publics d'éducation et d'enseignement :

Les équipements publics dédiés à l'éducation sont nombreux ; selon les niveaux de l'enseignement comme ce qui suit : « l'école préparatoire et l'école primaire ; pour l'enseignement primaire, le collège ; pour l'enseignement moyen et le lycée ; pour l'enseignement secondaire »²⁷. Sauf que en réalité, on remarque qu'il n'existe pas un équilibre en nombre des écoles préparatoire, car une école préparatoire par commune –parfois- n'est pas suffisant pour le nombre réel des enfants âgés de trois (3) à six (6) ans. La majorité des enfants de ce premier

²³ Le journal officiel algérien, n° 04-2008, op. cit, Article 12.

²⁴ Le journal officiel algérien, n° 04-2008, op. cit, Article 38.

²⁵ Le journal officiel algérien, n° 04-2008, op. cit, Articles 46, 47, 48, 50.

²⁶ Le journal officiel algérien, n° 04-2008, op. cit, Article 54.

²⁷ Le journal officiel algérien, n° 04-2008, op. cit, Article 81.

âge ; fréquentent les écoles primaires à l'âge de 5 ans ; où ils ont des salles de classe un peu spécialisées.

En janvier 2015 ; le ministère de l'éducation nationale a compté 25 862 établissements, des trois niveaux²⁸. La commission nationale algérienne pour Unesco de son côté ; publié l'évolution des établissements scolaires en Algérie ; qui atteint 18 461 école primaire, 5 253 collège et 2 147 lycée distribué sur le territoire national, au totale de 25 861 établissement ; pour l'année 2014-2015²⁹.

La forme architecturale alors comporte tous les activités du système éducatif, donc comment cet espace architecturale peut être défini et quels sont ses caractéristiques ?

I.2.3. Espace scolaire :

Tout espace liée à l'école ou reliée au mot "école" ; peut causer un effet physique, psychique ou intellectuel sur l'élève et qui peut affecter d'une façon directe ou indirecte sur le rendement de l'élève.

M. Mazalto et L. Paltrinieri ont défini cet espace par une définition plus détaillé qui est « l'ensemble des lieux dédiés aux différentes formes d'apprentissage des savoirs et de socialisation de celles et ceux qui les fréquentent [...], dont l'espace scolaire y compris ; la salle de classe, les couloirs, la cour de récréation, le hall, la médiathèque, le restaurant ou encore les espaces extérieurs, végétalisés ou non, qui entourent le bâtiment de l'école »³⁰. Cette vision pense que tout élément entouré de l'école peut avoir une influence sur le rendement de l'élève. Dès que A. Faniel a préféré de stabiliser sur une définition plus resserré ; et dire que « l'espace scolaire dépend étroitement de la conception qu'une société se fait de l'éducation et de la pédagogie, ainsi que de la façon dont un lieu est habité »³¹.

²⁸ Ministère de l'éducation nationale, (2015), "Données statistiques du secteur", Accueil, Activités, Url : <http://www.education.gov.dz/fr/activity/donnees-statistiques-du-secteur>, Page consulter le : 17 Octobre 2017.

²⁹ Commission nationale algérienne pour Unesco, (2015), " L'éducation nationale algérienne en chiffres", Accueil, Education, Url : <http://www.unesco.dz/index.php/fr/education>, Page consulter le : 17 Octobre 2017.

³⁰ Maurice Mazalto et Luca Paltrinieri, (2013), « Les espaces scolaires », Revue, Revue internationale d'éducation de Sèvres, Dossier N° 64, p 31.

³¹ Annick Faniel, (2017), « Espace et pédagogie : l'architecture scolaire et son impact sur les apprentissages », Centre d'expertise et de ressources pour l'enfance ASBL, Revue, Article de la rubrique, n°02, p 02.

1.2.4. Etude d'adaptation : Plan-type, modèle-type, Bâtiment-type :

Afin de préciser le mot d'adaptation chez le maître d'ouvrage algérien ; on a recherché sur le mot dans les textes législatifs mais, on n'a trouvé que le terme "répétitivité" ; le plus proche au terme "adaptation" ; et qui se définit par : « la répétitivité consiste à reproduire un ou plusieurs bâtiment-types dans le cadre d'une même opération. La répétition consiste à étudier un ou plusieurs bâtiment-types destinés à être utilisés dans le cadre de plusieurs opérations »³². Puis ; en fonction de ces précédents définitions ; on a établi cette définition pour l'étude d'adaptation, qui est l'utilisation d'une étude d'un ou plusieurs bâtiments sont déjà réalisés, dans le cadre de plusieurs opérations par modification pour l'approprier à un site donné. Le bâtiment soumis à cette opération se nomme : bâtiment-type, modèle-type ou bien plan-type.

1.2.5. Confort :

Quand on parle du confort thermique, toujours arrive à notre imagination qu'on est dans un état de satisfaction (on est dans un espace de détente ; en plein air avec un ciel clair ; en plein repos ; avec des vêtements légers etc.), c'est où chaque individu exprime le bien-être de son état. Les facteurs précédents (température, activité, vêtements...) rendent le confort plus difficile à définir et à mesurer, dont W. Rybczynski pour sa part affirme que ; « Il est plus simple d'évaluer le manque de confort que le confort »³³. En réalité l'état de satisfaction cité au-dessus ne peut être disponible toujours ; à cause de la diversité météo entre les périodes hivernales et estivales ; ce qui provoque un déséquilibre thermique ou un inconfort, comme B. Givoni se confirme ; « le maintien de l'équilibre thermique entre le corps humain et son environnement est l'une des principales exigences pour la santé, le bien-être et le confort »³⁴.

1.2.5.1. Les paramètres principaux du confort thermique :

« Le groupe de travail de l'ICEB, coordonné par Alain Bornarel (TRIBU) »³⁵, dans leur édition de la série des guides « BIO-TECH » en Île-de-France, ont classifié de nombreux facteurs dont le confort thermique les dépend :

³² Le journal officiel algérien, n° 45-2001, Arrêté interministériel du 15 mai 1988 modifié le 4 juillet 2001 portant modalités d'exercice et de rémunération de la maîtrise d'œuvre en bâtiment, Alger, Article 34.

³³ Witold Rybczynski, (1989), « Le Confort, Cinq siècles d'Habitation », 283 p.

³⁴ Baruch Givoni, (1978), « L'homme, l'architecture et le climat », Éditions du Moniteur, Paris, p 39.

³⁵ L'ICEB, Alain Bornarel (TRIBU), (2014), « Confort d'été passif », Les guides BIO-TECH, Île-de-France, p 10.

1.2.5.2. Paramètres liées à l'environnement :

- **Température d'air** : la température de l'air et la température des parois créent les conditions des échanges thermiques entre le corps humain et l'ambiance. On peut agréger ces deux températures en un seul paramètre, la température opérative (ou température résultante). En première approximation et pour des vitesses faibles, elle peut être calculée comme la demi-somme des deux températures d'air et de paroi.

- **Vitesse d'air** : elle favorise l'évapotranspiration et les échanges thermiques par convection. Ce faisant, la vitesse d'air abaisse la température de surface, ce qui est intéressant en été mais gênant en hiver. Cet effet n'est vraiment sensible qu'au-dessus d'une vitesse de 0,20 m/s.

- **Humidité relative** : elle crée les conditions des échanges thermiques par évaporation cutanée. Elle s'exprime habituellement en humidité relative HR, rapport exprimé en pourcentage entre la quantité d'eau contenue dans l'air à la température de cet air et la quantité maximale d'eau que peut contenir l'air (saturation) à cette même température.

La plage de confort est suffisamment large, de 30 % d'humidité relative à 70 %, de sorte qu'en climat tempéré, l'humidité est rarement un facteur déterminant du confort.

1.2.5.3. Paramètres liées à l'individu :

- **Activité** : selon le mouvement de l'individu et la durée de son activité et son repos, un métabolisme (M) selon S. Noha peut produire une énergie de³⁶ :

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

- **Habillement** : la résistance thermique des vêtements a son propre effet sur le confort de l'être humain ; puisque peut réduire ou augmenter les échanges thermiques avec l'environnement, par ses aération et légèreté ou son épaisseur.

³⁶ Said Noha, (2010), op. cit, p 04.

I.2.6. Consommation énergétique :

Par définition la consommation c'est le « fait d'utiliser quelque chose qui sera ensuite inutilisable, ou détruit »³⁷. Au but de calculer les consommations réelles pour les contrôler et de trouver les pertes pour les minimiser, on doit connaître tout d'abord comment s'expriment les consommations, alors on va les examiner par les « Guide AITF/EDF »³⁸ :

Les consommations s'expriment en kWh d'énergie primaire.

L'énergie primaire est l'énergie nécessaire pour fournir l'énergie finale que nous consommons.

L'énergie primaire correspond à des produits énergétiques dans l'état (ou proches de l'état) dans lequel ils sont fournis par la nature : charbon, pétrole, gaz naturel ou bois.

Pour la production d'électricité, la comptabilisation en énergie primaire est plus complexe :

Energies	Pouvoir Calorifique Inferieure (PCI)		Rapport Energies Primaire/PCI
		Unité	
Gaz naturel	8 à 12	kWh/m ³ (n)	1
Propane	13800	kWh/tonne	1
Butane	12 780	kWh/tonne	1
Fioul domestique	9,97	kWh/litre	1
Bois (plaquettes forestières à 25 % d'humidité)	3750	kWh/tonne	1 (O6)
Electricité			2,58

Tableau I. 1: Le pouvoir calorifique pour quelques formats d'énergie primaire.

Source: V. Heulard et Al, Sans date.

- La production d'électricité par l'hydraulique (ainsi que l'éolien et le photovoltaïque), est comptabilisée directement en kWh d'énergie primaire.

- Pour la production d'électricité par des centrales thermiques (nucléaires et autres), on comptabilise, en sus du kWh électrique produit, les pertes calorifiques liées à la transformation de chaleur en électricité.

La moyenne du rendement énergie électrique finale produite / énergie primaire consommée d'une centrale est compris, suivant l'âge de l'installation, entre 35 et 40 %.

³⁷ Reverso Dictionnaire, (2017), *Ibid.*

³⁸ Véronique Heulard et Al, (Sans date), op. cit, p 04-05.

I.2.6.1. La répartition de la consommation du secteur tertiaire par branche d'activité :

Selon l'APRUE³⁹ ; la consommation énergétique du secteur tertiaire a atteint 2 millions de TEP en 2012. Par branche d'activité, cette consommation se répartie comme suit : Commerce : 16%,

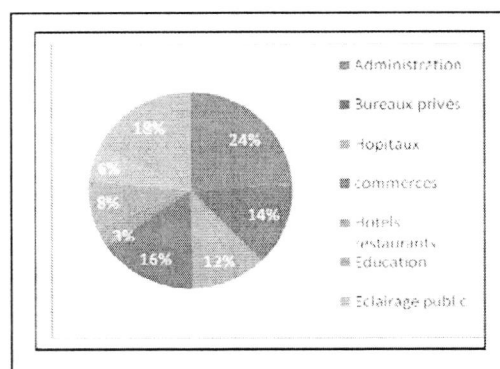


Figure I. 1: Répartition de la consommation du secteur tertiaire par branche. Source: APRUE, 2014.

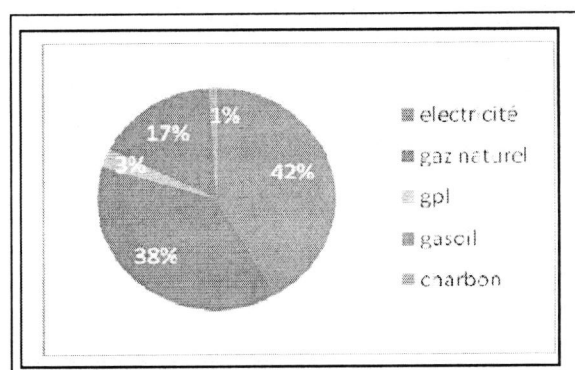


Figure I. 2: Répartition de la consommation du secteur tertiaire par types d'énergie. Source: APRUE, 2014.

Administration centrale : 24%, Tourisme : 3%, Santé : 12%, Education : 8%, Eclairage public : 6%, Bureaux privés : 14%, Autres : 18%.

La répartition de la consommation du tertiaire par produit montre que la consommation en électricité est décisive, dont la climatisation et les matériels bureautiques sont les facteurs principaux en consommation.

I.2.6.2. Consommation d'énergie en Algérie :

a. Consommation nationale :

« La consommation nationale d'énergie (y compris les pertes) est de 58,3 M Tep en 2015 »⁴⁰.

b. Consommation finale :

La consommation finale, qui représente 73% de la consommation nationale, comprend tous les usages à caractère final d'énergie. Elle est passée de 39,4 M Tep à 42,5 M Tep en 2015, reflétant une hausse de 7,8%.

La consommation des "ménages et autres" représente près de 43% de la consommation finale.

³⁹ Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (APRUE), (2014), Ministère de l'Energie, « Consommation Energétique Finale de l'Algérie : Chiffres clés Année 2012 », Revue, Alger, p 06.

⁴⁰ Ministère de l'Energie, (2016), « Bilan énergétique national 2015 », Revue, Alger, p 19.

I.2.6.3. Consommation d'une école en énergie :

Les besoin d'une école algérienne en énergie vont pas à pas augmenter en rapport avec le développement du secteur en termes de nombre de bâtiment scolaire réalisé que sont atteintes

Infrastructures communales	Consommation unitaire (MWH)
Infrastructures sportives	77,50
Écoles	57,92
Mosquées	28,04
Infrastructures administratives	26,14
Infrastructures culturelles	15,17

Tableau I. 2: Consommation moyenne unitaire des infrastructures communales. Source: M. Boughedaoui, 2015.

les 25 862 unités en janvier 2015. Ce nombre selon Dr M. Boughedaoui⁴¹ ; rend le secteur éducation parmi les plus consommatrice en énergie final national du tertiaire, avec 57.92 Mwh de consommation moyenne unitaire des infrastructures communales (tableau 02), et le plus consommant en électricité par 34.10% -hors éclairage public- (figure 03).

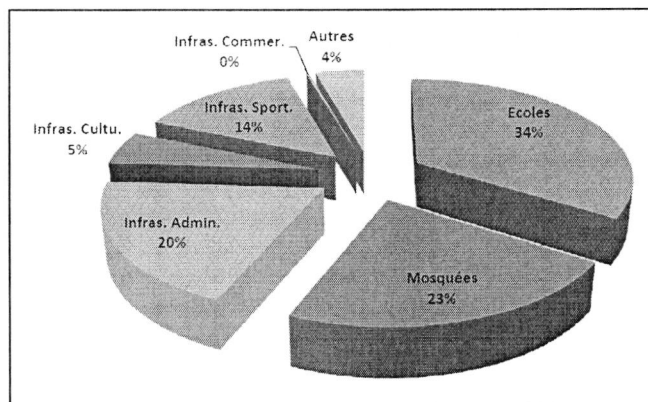


Figure I. 3: Consommation d'énergie, hors éclairage public, par poste. Source: M. Boughedaoui, 2015.

Plus précisément la consommation dans une école algérienne quel que soit son niveau, utilise les énergies finale en deux formats :

- **Gaz naturel** : généralement utilisé pour les équipements d'appoints ; comme le chauffage à gaz et la production de l'eau chaude sanitaire.

⁴¹ Menouer Boughedaoui, (2015), op. cit, p 42, 48, 49.

- **Electricité** : principalement pour l'éclairage artificiel intérieure et extérieure, climatisation, bureautique-audiovisuel, cuisine-électroménager, ventilation, auxiliaires (ventilateurs, pompes...).

1.2.6.4. Exemple de consommation de quelques écoles :

Pour plus de détails on a visité l'agence commerciale de la direction de distribution de Sonelgaz Msila et la commune d'Ouled Derradj ; afin de préciser les besoins réels de quelques écoles, dont ces derniers se situés dans des zones urbaines. Les consommations finales sont organisées en fonction de ses dates de factures comme ce qui suit :

a. Ecole primaire Ben Makhfi Mohammed (cité 108 lots – Msila) :

Ecole Ben Makhfi Mohammed - Cité 108 lots – Msila			
Date de facture	Format d'énergie consommé		Energie finale Consommé / kWh
	Electricité / kWh	G.N / kWh	
13 / 03 / 2016	7 339,00	69 427,26	76 766,26
13 / 06 / 2016	8 642,00	3 926,17	12 568,17
13 / 09 / 2016	0,00	0,00	0,00
13 / 12 / 2016	4 780,00	16 634,85	21 414,85
Une Année	20 761,00	89 988,29	110 749,29
Consommation annuelle / Tout formats d'énergie			

Tableau I. 3: Consommation trimestrielle d'énergie d'école Ben Makhfi Mohammed pour l'année 2016. Source: Auteur.

L'école fonctionnant à temps partiel, le matin de 8 h 00 à 11 h 15 et l'après-midi entre 13 h 00 et 16 h 15. Le compteur d'électricité affiche la consommation directe en kWh, en effet le compteur de gaz naturel son index est en (m³). Pour plus de détails des factures voir annexe B.

On multiplie ensuite le chiffre par un facteur de conversion pour exprimer en kWh la quantité d'énergie que nous avons effectivement consommée.

Le facteur de conversion : en Algérie 01 m³ gaz naturel équivaut à **9.30** thermie.

Et 01 thermie de gaz équivaut à **1.163** kWh.

En prend par exemple la première facture du 13 mars 2016 de cette première école :

Consommation trimestrielle = **6 419,00 m³**.

Equivalent en kWh : $6\,419,00 \times 9,30 \times 1,163 = \mathbf{69\,427,26\text{ kWh}}$.

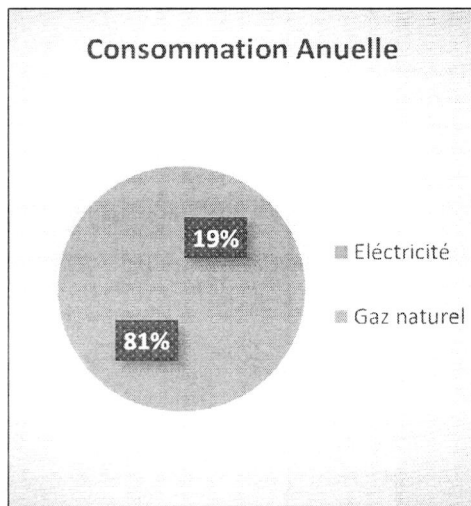


Figure I. 4: Consommation annuelle d'école Ben Makhfi, tous formats d'énergie. Source: Auteur.

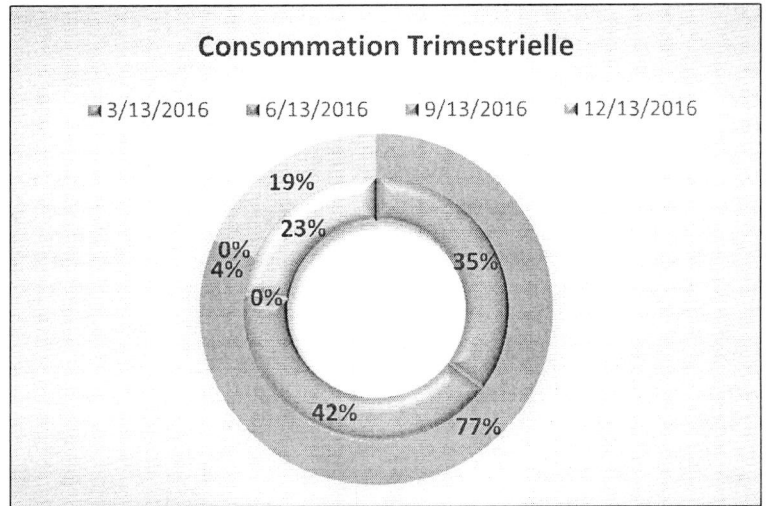


Figure I. 5: Consommation trimestrielle d'école Ben Makhfi, tous formats d'énergie. Source: Auteur.

Cette école exemple ; consomme le gaz naturel trois fois la consommation d'électricité, cela peut introduire le besoin massif en échauffement à la période hivernale ; qu'on remarque 77% d'utilisation de cette format entre janvier et mars, et 19% entre septembre et décembre. En effet l'utilisation de l'électricité est presque régulière, du janvier jusqu'à juin 35% et 42%, cela peut introduire que l'utilisation de cette format se résume en éclairage et quelques équipements électroniques.

La consommation est nulle entre juin et septembre, les élèves et l'équipe administratif sont en vacance de trois mois, et l'école se ferme pour cette période.

- **Besoin et consommation réels :**

Surface de l'école : 4 800,00 m².

Surface construite : 1 452,00 m².

Nombre et type de salle utilisé : 12 salles, dont 06 en exploitation + 02 locaux administratifs.

Cantine : 130 m².

Bibliothèque :

Surface utile : $(63,05 \times 06) + (02 \times 15,76) = \mathbf{409,825\text{ m}^2}$.

Besoin d'énergie en kWh/m².a : $110\,749,29 / 409,82 = \mathbf{270,23\text{ kWh/m}^2.a}$.

1.2.7. Efficacité énergétique :

« L'efficacité énergétique est le rapport entre l'énergie directement utilisée (dite énergie utile) et l'énergie consommée (en général supérieure du fait des pertes) »⁴², dont elle s'applique à un équipement particulier comme s'applique à tout un logement.

L'efficacité énergétique des équipements est exprimée par le COP (Coefficient de Performance) quand il s'agit de production de chaleur et par l'EER (coefficient d'efficacité énergétique) pour les appareils produisant du froid.

1.2.7.1. La norme ASHRAE 90.1 :

« La norme (ASHRAE)⁴³ 90.1 est mentionnée dans le programme de certification LEED comme étant l'une des options pour atteindre la performance énergétique souhaitée. Elle s'applique aux éléments de l'enveloppe du bâtiment et aux systèmes CVCA. Trois options sont suggérées pour répondre aux exigences de la norme »⁴⁴ :

- L'approche simplifiée pour les systèmes de climatisation.
- Les dispositions obligatoires requises pour le chemin prescriptif.
- Les dispositions obligatoires requises pour le budget des coûts de l'énergie.

Chaque option comporte des avantages et des inconvénients en matière de rigueur et de complexité qui peuvent avoir des impacts sur la conception du bâtiment.

1.2.7.2. Les outils de simulation :

Les ingénieurs n'ont plus l'exclusivité des outils de simulation. De plus en plus d'outils sont accessibles à l'architecte qui souhaite analyser les options passives. En début de projet, l'utilisation d'outils de simulation simplifiés ou d'analyse de problématiques permet d'évaluer et d'éliminer certaines pistes de solution ou d'investigation ou d'en découvrir de nouvelles. Cette révolution représente de nouveaux défis dans les rôles respectifs de l'architecte et de l'ingénieur en matière d'optimisation énergétique. Ce dernier étant plus qualifié pour interpréter les

⁴² FNAIM du grand Paris, (2017), « La diminution de la consommation d'énergie des logements en France reste à nuancer », Url : <https://www.lamaisondelimmobilier.org/efficacite-energetique-en-france/>, Page consulter le : 15 Octobre 2017.

⁴³ ASHRAE : American Society of Heating Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, association des ingénieurs climaticiens des États-Unis, établit les règles de calcul aux USA et dans de nombreux autres pays du globe.

⁴⁴ Daniel Forgues et Al, (2016), « Guide de conception d'un bâtiment performant, Fascicule 01, Notions de base et simulation énergétique », Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, Gouvernement du Québec, p 15.

données de plusieurs de ces outils, il est important de resserrer les liens entre les deux disciplines. L'architecte doit travailler avec l'ingénieur à procéder à des essais successifs dès la phase de l'esquisse.

a. Les outils de simulation des stratégies passives :

Le tableau 6 présente un éventail des principaux éléments passifs à considérer lors de la conception ainsi que certains outils utilisés ou disponibles pour évaluer l'impact sur la performance du bâtiment.

Stratégie d'optimisation	Caractéristique	Outil
Site et volumétrie	<ul style="list-style-type: none"> ■ Forme/compacité ■ Orientation 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Construction traditionnelle (<i>design-bid-build</i>) ■ Entrepreneur-gérant ■ Concours
Enveloppe	<ul style="list-style-type: none"> ■ Résistance thermique ■ Fenestration ■ Ponts thermiques ■ Inertie thermique 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Windows 7.2 ■ FRAMEPlus ■ THERM 7.3 ■ Outils DOE (HAP, EE4, eQuest/CanQuest, etc.) ■ Outils EnergyPlus (OpenStudio, DesignBuilder, etc.) ■ TRNSYS ■ ESPr
Éclairage naturel	Voir Tableau 4 à la page 41	<ul style="list-style-type: none"> ■ Ecotect ■ Radiance ■ Daysim ■ Dialux

Tableau I. 4: Aperçu des outils d'analyse et de modélisation disponibles pour les stratégies passives. Source : D. Forgues et Al, 2016.

b. Les outils de simulation des stratégies actives :

Les outils de simulation permettent généralement de procéder à deux types d'analyses : (1) déterminer les charges de chauffage et de refroidissement pendant le processus de conception, et (2) faire une analyse de la consommation énergétique et des coûts. Les analyses de consommation énergétique et de coûts permettent d'estimer la consommation mensuelle et le coût annuel d'énergie, de comparer les différentes options en matière d'efficacité selon l'approche du coût global et de calculer les émissions annuelles de (GES).

Certains outils sont conçus pour être utilisés dans les phases initiales de conception, d'autres pour faire des analyses plus poussées afin d'optimiser la conception.

Deuxième Section : Etat de l'art

I.3. Proposition des pistes de réponses à la problématique :

Dans cette deuxième partie là, on va essayer de préciser le problème de l'étude. Avant de poser la question de climat et sa relation avec la forme et la question d'adéquation de cette dernière dans une région, on doit connaître premièrement les réglementations algériennes liées à l'énergie, et celle qui encourager à appliquer l'opération de l'adaptation, puis on verra l'appropriation de la forme architecturale aux enjeux de l'éducation afin de choisir en elle-même la plus appropriée en matière d'enseignement ; pour étudier sa performance en matière d'énergie dans le deuxième chapitre.

I.3.1. Réglementation :

En différents cas comme la volonté de l'accélération en réalisation de la construction ou la rareté des ressources financières ; le maître d'ouvrage exerce tous ses droits dans ce domaine et recourt à l'adaptation des différents équipements, sans penser à aucun effet négatif possible liée à cette opération. 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.3.1.2. 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 suivants⁴⁵ :

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.

⁴⁵ S.M.K. El Hassar et Astrid Denker, (2014), « Guide pour une construction Eco-énergétique en Algérie », Guide, Editeur GIZ, p 26-27.

- 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 du développement durable.

- Loi n° 04-09 du 14 Août 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 : Définition, Date, et Enjeux

Ces dernières années il y a un intérêt important pour l'étude multi dimensionnelle des impacts liés aux bâtiments en objectif de réduire leur consommation d'énergie pendant sa phase d'exploitation. L'Algérie pour sa part s'engage dans ce mouvement « en lançant un programme ambitieux de développement des énergies renouvelables (EnR) et d'efficacité énergétique. Cette vision du gouvernement algérien s'appuie sur une stratégie axée sur la mise en valeur des ressources inépuisable ; Grâce à la combinaison des initiatives et des intelligences, l'Algérie s'engage dans une nouvelle ère énergétique durable »⁴⁶.

Le programme a été élaboré pour la période 2015-2030, et consiste à réaliser des économies d'énergies à l'horizon 2030 de l'ordre de 63 millions de TEP, pour l'ensemble des secteurs (bâtiment et éclairage public, transport, industrie), (37 % des besoins nationaux en électricité à partir de sources d'énergie renouvelable). Le programme de l'efficacité énergétique permettra de réduire les émissions de CO2 de 193 millions de tonnes.

I.3.1.3. Plan d'action en matière d'efficacité énergétique :

Le bâtiment se situe en premier lieu des secteurs ciblé par Le programme ; qui se focalise sur les secteurs de consommation qui ont un impact significatif sur la demande d'énergie.

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 existantes et nouvelles.

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.

⁴⁶ Ministère de l'énergie (2015), Le programme national des Energies Nouvelles, Renouvelables et Maitrise de l'Energie (EnR, ME) 2015-2030.

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 répartie comme suit :

- 1- Isolation thermique : l'objectif est d'atteindre un gain cumulé évalué à plus de 7 millions de TEP.
- 2- Chauffe-eau solaire : l'objectif est de réaliser une économie d'énergie à plus de 2 millions de TEP.
- 3- Lampe basse consommation (LBC) : les gains en énergie escomptés, à l'horizon 2030 sont estimés à près de 20 millions de TEP.
- 4- Eclairage public : l'objectif est de réaliser une économie d'énergie de près de un (01) million de TEP, à l'horizon 2030 et d'alléger la facture énergétique des collectivités.

On va essayer durant cette étude de mesurer l'impact de la forme (le premier parmi plusieurs paramètres au niveau de la phase de conception) sur la consommation énergétique et on va essayer dans le deuxième chapitre de mesurer cet effet et son place ou son rôle par rapport au programme national de l'efficacité énergétique.

1.3.1.4. Synthèse :

Concernant la réglementation algérienne on n'a trouvé aucune opération dite "adaptation d'une étude", seulement le maître d'ouvrage qu'utilisé ce mot au sens de faire un autre usage d'une étude déjà mise en œuvre quel que soit le site. Cela se fait sur la base de l'article 11 du décret n° 94-07 du 18 mai 1994 relatif aux conditions de la production architecturale et à l'exercice de la profession d'architecte ; qui assure que « L'étude de l'œuvre architecturale conçue dans le cadre d'un contrat entre un maître d'ouvrage et un architecte est la propriété du maître de l'ouvrage pour la construction prévue par le contrat. Le maître d'ouvrage ne peut en faire un autre usage sans l'accord exprès de l'architecte [...] »⁴⁷.

⁴⁷ Le journal officiel algérien, n° 32-1994 : *Ibid.*

Et jusqu'à maintenant la cohérence est insuffisante entre la volonté de l'état "représenté par le volume important des programmes et réglementations adoptés liées de l'énergie" et ce qui se passe à la réalité avec le maître d'ouvrage ; les différents ministères et ses délégués "la direction des équipements public (DEP)", soit dans l'engagement de la "réparation" des constructions existantes soit dans le contrôle des nouvelles constructions.

1.3.2. La forme du bâtiment et architecture scolaire :

Maintenant pour comprendre mieux la relation entre la typologie des constructions scolaires et l'effet de l'opération de l'adaptation sur la consommation ; on doit discuter premièrement la réalité de l'architecture scolaire en Algérie et son effet sur le rendement de nos élèves, afin découvrir la meilleure typologie, puisque on a une multitude de choix de forme, et on ne peut pas faire une comparaison en consommation sans tenir compte le bon fonctionnement et le bon "rendement" de l'espace scolaire. De ce fait on va choisir la meilleure forme en matière de satisfaction des besoins de l'élève concernant l'enseignement et l'apprentissage pour la comparer avec les plans types du ministère.

1.3.2.1. L'architecture scolaire en Algérie :

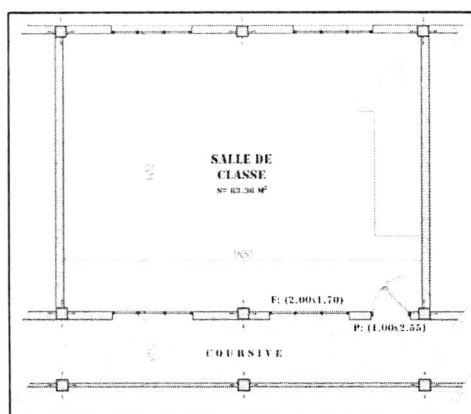


Figure I. 7: Plan des salles de cours de la typologie de plan à coursive.

Source: Auteur.

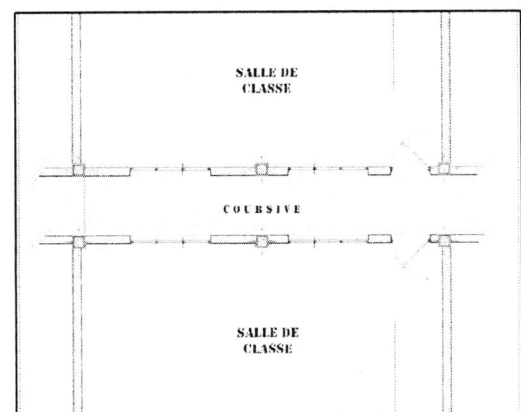


Figure I. 6: Plan des salles de cours de la typologie de plan à corridor.

Source: Auteur.

L'architecture scolaire en Algérie à deux aspects qu'on peut les distinguer, l'aspect typique qui a construit selon les plans types qui ont parfaitement les mêmes caractéristiques (voir annexe A), et l'aspect non typique car elle répondre à la majorité des exigences du guide des normes techniques scolaires établit par le ministère de l'éducation national. À partir de ce guide ;

on peut entamer juste une seule typologie ; est la typologie de plan à coursive, dont il existe une autre typologie connu en Algérie bien qu'elle ne respecte pas le guide ; qui est la typologie de plan à corridor.

a. La réglementation de la construction scolaire :

Lors de la visite de Mlle Arhab Fatma au ministère de l'éducation national, elle a constaté que le ministère de l'éducation détient deux documents de base, utilisés en tant que référence et guide de construction des établissements scolaires. Ces documents sont ; Constructions Scolaires Recueil de Normes¹² (oct. 1971) et Guide de Constructions Scolaires Enseignement Fondamental (1er cycle et 2ème cycle). (Juin 1982). Alors, nous on est basés sur les normes techniques de deux documents précédents afin d'établir les normes fonctionnelles suivantes⁴⁸ :

b. Caractéristiques du bâtiment :

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

Le guide exige que la construction des écoles doit implanter sur les parties les plus peuplées et qui éloignée des causes du bruit et de la pollution, au but d'assurer le confort sonore des occupants et de garantir l'hygiène de l'école.

Le nombre des élèves est limité entre 120 et 480 élèves (soit de 40 élèves par salle !), (Voir le tableau 5).

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. 5: Capacité d'accueil des écoles selon le type. Source : A. Fatma, 2014.

2. Flexibilité :

La possibilité d'agrandir des salles de classe, de transformation intérieure (comme construction ou suppression des cloisons) et l'extension future de l'école doivent assurer. Cette flexibilité (limité) est obligatoire que pour les écoles primaires.

⁴⁸ Arhab Fatma, (2014), op. cit, p 50-53.

Les dimensions uniformes du guide proposent 03 surfaces entre (52, 60 et 62 m²), et des dimensions fixées du forme carré ou rectangulaire comme suit :

- Local rectangulaire : 08.40m x 07.20m, 09.00m x 06.60m.
- Local carré : 07.80m x 07.80m.
- Hauteur sous plafond : 03.00m à 03.50m.

1. Dimensions :

Dans ce guide, la salle de classe est considérée comme le module de base de la conception des différents espaces constituant l'école. (Plan proposé par le MEN voir annexe A)

c. Caractéristiques architecturales de la salle de classe :

La bonne disposition des blocs exige le regroupement de certains locaux ayant des conditions de bon fonctionnement (exigences d'éclairage, de ventilation, d'acoustique, et d'équipement) semblables. On peut distinguer trois groupes fonctionnels ; enseignement- espace polyvalent- administration et annexes. (GCSEF. 1982).

4. La structure bâtie :

- De la protection à rechercher par rapport aux sources de bruit. (GCSEF. 1982).
- Des dispositifs de ventilation naturelle des locaux.
- Des caractéristiques de la construction.
- De l'altitude.
- De la topographie du terrain.

d'humidité.

- Des vents dominants, de leur force, de leurs fréquences, du fait qu'ils sont secs ou chargés
- Des effets d'ensoleillement

En effet, l'orientation du bâtiment doit prendre en considération :

assurer une ventilation naturel efficace.

Nord-Sud est favorisé en périodes estivales pour les locaux d'enseignements, dont il faut prévoir des protections solaire fixes ou mobile si le concepteur préfère les axes Sud-Est ou sud, et doit

Au but d'assurer le confort thermique et de réduire la consommation énergétique ; l'axe

3. Orientation :

Cependant, le cubage d'air est de 04 - 05m³ par élève et la surface utile est de 01.40 – 01.50m² par élève.

2. Ouvertures :

Le pourcentage des baies vitrées a été fixé entre 10 et 15% de la surface plancher, et varie dans cet intervalle selon les zones climatiques.

Ces ouvertures doivent être réparties en deux côtés opposés afin d'assurer une ventilation efficace et garantir un meilleur éclairage de la salle, dont l'éclairage unilatérale à éviter sauf pour un espace moins de 07,20 m de profondeur.

3. Revêtements :

Le guide pense du côté à la sécurité de l'enfant concernant le revêtement de sol ; où exige un sol anti dérapant et d'autre coté à la solidité où le sol doit être étanche, résistant aux chocs et aux agents chimiques. La peinture de toute la salle doit être en couleur clair et mate.

4. Equipements :

- L'éclairage artificiel sera assuré par des points lumineux de 120 lux aux niveaux des tables des élèves et 200 lux au niveau du tableau.
- Le chauffage doit être installé conformément aux normes de sécurités.
- Les équipements d'appoint installés doivent assurer une température ambiante de 18 °C à l'intérieur de la salle.

5. Espaces de récréation :

- L'aire de récréation doit être aménagée par un aménagement simple et pas couteux, avec des alignements d'arbres plantés à 6m au moins des bâtiments.
- La surface prévue pour la cours en appliquant la norme de surface exigée par élève à savoir, 3 à 5m² par élève.

d. Synthèse :

Les constructions scolaires en Algérie suivent le schéma classique, constitué par un couloir qui donne accès aux différentes salles de classe, dont les décideurs sont les premiers responsable

de ce guide qui limite les choix à la conception limite la créativité et resserre toutes les intervalles de toute caractéristique.

L'absence de l'actualisation de ces normes depuis 1982 -en meilleur des cas- causé un grand problème en matière de bien-être de l'élève. Le temps que le guide GCSEF s'exprimer et définir par exemple ; la flexibilité par la possibilité d'agrandir les salles de cours, on trouve les tendances et les études actuelles demande instamment de concentrer sur la socialisation et de la flexibilité de tout l'espaces scolaires, et on trouve qu'on est restent au 19^{eme} siècle jusqu'à le moment ! Bounous Duprey explique la flexibilité dans l'école et dire « la flexibilité et la modularité sont donc vraisemblablement le seul moyen de pallier l'inévitable décalage entre des exigences pédagogiques toujours nouvelles, des usages multiformes et des espaces physiques construits. Au lieu de chercher à fixer, dresser, assigner, comme c'était le cas au XIXe siècle et encore souvent aujourd'hui [...] »⁴⁹.

« la salle de classe reste souvent dans les proportions standardisées depuis 1871 sur les plans types de l'architecte César Pompée, avec les fenêtres ou baies vitrées à la gauche de rangées de tables alignées, orientées vers le tableau et encore souvent le bureau du maitre, le couloir et la porte d'entrée de la classe restant à la droite des élèves sur un mur aveugle »⁵⁰.

1.3.2.2. L'école de demain :

Le ministère de l'éducation présente une volonté géante afin de développer le programme d'enseignement et tout le système éducatif, mais l'espace scolaire reste ignorer de la part du ministère et pourtant il est un élément très important du système. Dans le suivant, on discutera l'historique de l'architecture scolaire en Europe est les tendances actuelles de cette architecture et ses spécificités.

⁴⁹ Alexandra Bounous-Duprey. (2016), « Architecture scolaire et ergonomie organisationnelle », Mémoire de master, Ecole supérieure du professorat et de l'éducation, Aix et Marseille Université, Url: http://media.devenirensignant.gouv.fr/file/Memoires_MEEF_2016/37/1/AixMarseille_AlexandraBounous-Duprey_607371.pdf, Page consultée le: 21 mars 2017.

⁵⁰ Marianne Capdeville et al, (2015), « Collaboration pédagogie & architecture dans les écoles : utopie ou réalité ? », (tome I), Service éducatif de la manufacture des paysages, (France), p 32.

a. Aperçu historique :

L'Europe après la 2e guerre mondiale sort par des grands dam en infrastructures ; et en tous aspects de la vie quotidienne. Les Etats souffrants de cette guerre ont encouragé leurs peuples à la procréation pour la reconstruction des pays. Ces pays alors sont affronté un grand déficit en équipement avec l'accroissement énorme de la population ; ce qui a poussé les autorités à décréter de créer le max d'établissement scolaire notamment, dans des périodes très courte.

Les responsables de secteur bâtiment en toutes ces pays ont évalué le rendement de ses institutions et la réussite de ses enfants pour chaque période, et ont proposé des nouveaux guides scolaire presque chaque 15 ans ; ce que les rends les plus experts spécialisé dans ce secteur. Selon A. Martin et E. Mir⁵¹ la génération d'école européenne après-guerre a passé par ce qui suit :

1. L'école pavillonnaire (1950 - 1960) :

C'est une école constitué de plusieurs bâtiments dispersé dans les prairies, elle se caractérise par des petits blocs composants à la taille de l'enfant et par une bonne harmonie avec la nature, dont l'un des porteurs de ce mouvement est l'architecte Tony Garnier (1869 – 1948).

2. Construction moderne (1960 - 1970) :

Une façade et un aménagement intérieure simple ; avec des matériaux connus et disponibles partout (verre, béton, métal, brique) et le plan libre aussi, sont les grandes choses qui caractérisent ce mouvement. Ces écoles sont bénéficiées de plusieurs nouveaux espaces comme salle de gymnastique et des locaux médicaux.

3. Construction intégrée (1970 - 1990) :

Parmi les inconvénients de l'accélération en construction des bâtiments tertiaires avant les années 70, résulte des bâtiments n'ont aucune relation aux ses sites d'implantation, les autorités alors ont exigé l'intégration parfaite au site et le respect de l'environnement, ils ont la classier parmi les spécificités primordiales. De ce fait, la hauteur basse de construction, avec un jeu de

⁵¹ Alix Martin et Eleanor Mir, (2014), « Réflexion sur les enjeux scolaires : un outil pour les conceptions architectures », Enoncé théorique EPFL - Master, France, p 65-83.

volume, les grands décrochements en façade, les toitures inclinées et la disposition adjacente et la répétitives de tous les types d'ouverture sont recommandés pour ce genre de construction, dont le préau aussi reste toujours obligatoire.

4. L'école compacte (1990 à nos jours) :

Au contraire à la construction intégrée ; l'école compacte s'ôte de l'environnement, dont le bâtiment prend une seule forme primaire, simple et magistrale (en dimension, en proportion et en ouvertures). Pour les matériaux de construction les concepteurs souvent préfèrent le béton et les briques silico-calcaire. Ces écoles bénéficient peu à peu de divers locaux, annexes et salle de classe à différent utilisation.

b. Caractéristiques de l'architecture scolaire contemporaine :

La société se change rapidement de tous ses formes surtout avec le développement en tous aspect de vie ces dernières années, à l'opposé le bâtiment reste le même, rigide et solide pour une longue durée ; et des fois d'une cinquantaine d'année.

De ce fait, la meilleure solution et de donner ce genre de bâtiment les mêmes caractéristiques de ses occupants et satisfait leurs besoins, le donne une âme (transparence, ouvertures, aménagement...) d'un part pour aimer, protéger nos enfants et être aimable par eux. Une vie (flexibilité, fluidité, variété...) d'autre part pour assurer l'intégration sociale de nos enfants... etc. le tout au service du bien-être de l'élève. 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 »⁵², ces deux caractéristiques alors peut réunir et satisfaire tous les besoins psychiques et physiologiques de l'élève.

1. La flexibilité :

- **Une seule enveloppe** : les bâtiments scolaires actuellement ont tendance d'imposer une seule enveloppe commune englober tous les activités pour que l'élève se sentir protéger. la majorité de ces bâtiments gardent des structures fixes pour ses plans ouverts et libre afin de

⁵² Maurice Mazalto et Luca Paltrinieri, (2013), Les espaces scolaires, Revue internationale d'éducation de Sèvres, Dossier N° 64 – décembre, p 40.

permettre l'utilisation de l'espace pour les différentes formes de l'enseignement, « du point de vue architectural, cela signifie que l'on s'éloigne progressivement de l'école comme empilement de salles de classe closes pour aller vers des établissements à espaces décloisonnés et évolutifs »⁵³.

Ces établissements besoin d'être :

- **Utilisation multiple de l'espace** : au but de varier les espaces d'apprentissage et d'enseignement et l'exploitation de chaque espace, on besoin à tout moment de modifier facilement l'organisation de n'importe quel espace à n'importe quel moment, à travers non seulement l'aménagement mais aussi les cloisons, la salle de classe par exemple ; « tend à s'écarter du modèle rectangulaire traditionnel. Elle n'a souvent plus de porte et se déforme. Sans doute va-t-elle se dissoudre dans d'autres espaces car l'école de demain n'aura vraisemblablement plus besoin de classes »⁵⁴.

- **Circulation et fluidité** : l'intégration sociale comme l'un des facteurs indispensable pour la construction identitaire des élèves ; doit assurer par les espaces de circulation vaste qui deviennent plus efficace par l'intégration des activités d'apprentissage. De cette façon ces espaces favorisent l'échange de l'information et la coopération des élèves à différentes activités. Un atrium ou un espace centrale reste très important pour la vie relationnelle de tous les occupants de l'école ; dont toutes les pièces et les espaces liés entre eux par ce cœur de distribution. Il facilite aussi la gestion de flux vers les différents espaces de vie (récréation, cantine, bibliothèque, administration... etc.) et regrouper les usagers une autre fois.

2. La transparence :

Jusqu'à le moment il n'y a pas un accord définitif entre les chercheurs sur la transparence complète des espaces d'apprentissage ou les salles de classe, car elle touche l'intimité de l'élève, le temps où on cherche de l'individualisation et la personnalisation des apprentissages. Cependant la transparence peut « [...] favoriser la communication indirecte entre les élèves, et le sentiment d'appartenance à la communauté »⁵⁵.

⁵³ Maurice Mazalto et Luca Paltrinieri, (2013), op. cit, p 32.

⁵⁴ Marchand Bruno, (2004), L'architecture scolaire aujourd'hui, Article de journal, Bulletin CIIP, n° 15, p 20-23.

⁵⁵ Maurice Mazalto et Luca Paltrinieri, (2013), op. cit, p 39.

1.3.2.3. Synthèse :

L'espace d'enseignement est un lieu de vie, il doit favoriser l'expression du bien-être de chaque usager ; et surtout l'élève. La variété des espaces, la socialisation, la flexibilité, l'aménagement intérieure et extérieure sont des facteurs que l'on doit tenir compte lors de la conception de ce genre de bâtiment ; pour permettre aux enfants à développer leurs cerveaux au sein de ce lieu social ; car « [...] l'espace scolaire fait indubitablement l'objet d'une "construction sociale" : les usagers se l'approprient en l'habitant, ils le réinventent, ils en modifient circulations et fonctionnalités (Hacking, 2001) »⁵⁶.

Dans l'ensemble, il apparait que la forme compacte est la plus répondue pour ces caractéristiques, et presque la seule forme qui peut contenir tous les exigences précédentes. Et concernant ce sujet ; A. Rigolon a proposé « une vision critique générale des différents types de bâtiments scolaires en Europe, basée sur une analyse des morphologies et des implantations spatiales. Dont les différents modèles sont évalués en fonction des besoins didactiques et sociaux spécifiques »⁵⁷.

Le choix des types de modèles conceptuels a été élaboré sur les critères suivants :

- La morphologie et l'implantation interne.
- Caractéristique spécifique de l'école et nombre d'élève (niveau d'éducation).
- Philosophie de l'école en éducation.
- L'emplacement de l'école dans la région (urbaine, suburbaine ou rurale).

⁵⁶ Maurice Mazalto et Luca Paltrinieri, (2013), op. cit, p 34.

⁵⁷ Alessandro Rigolon, (2010), « Les plans de construction des écoles européennes du XXIe siècle : Présentation », CELE Échanges, Centre pour des environnements pédagogiques efficaces, 2010/03, Éditions OCDE, Paris, p 01.

Selon A. Rigolon les principaux types de bâtiments scolaires en Europe sont représentés sur la figure 8 ci-dessous :

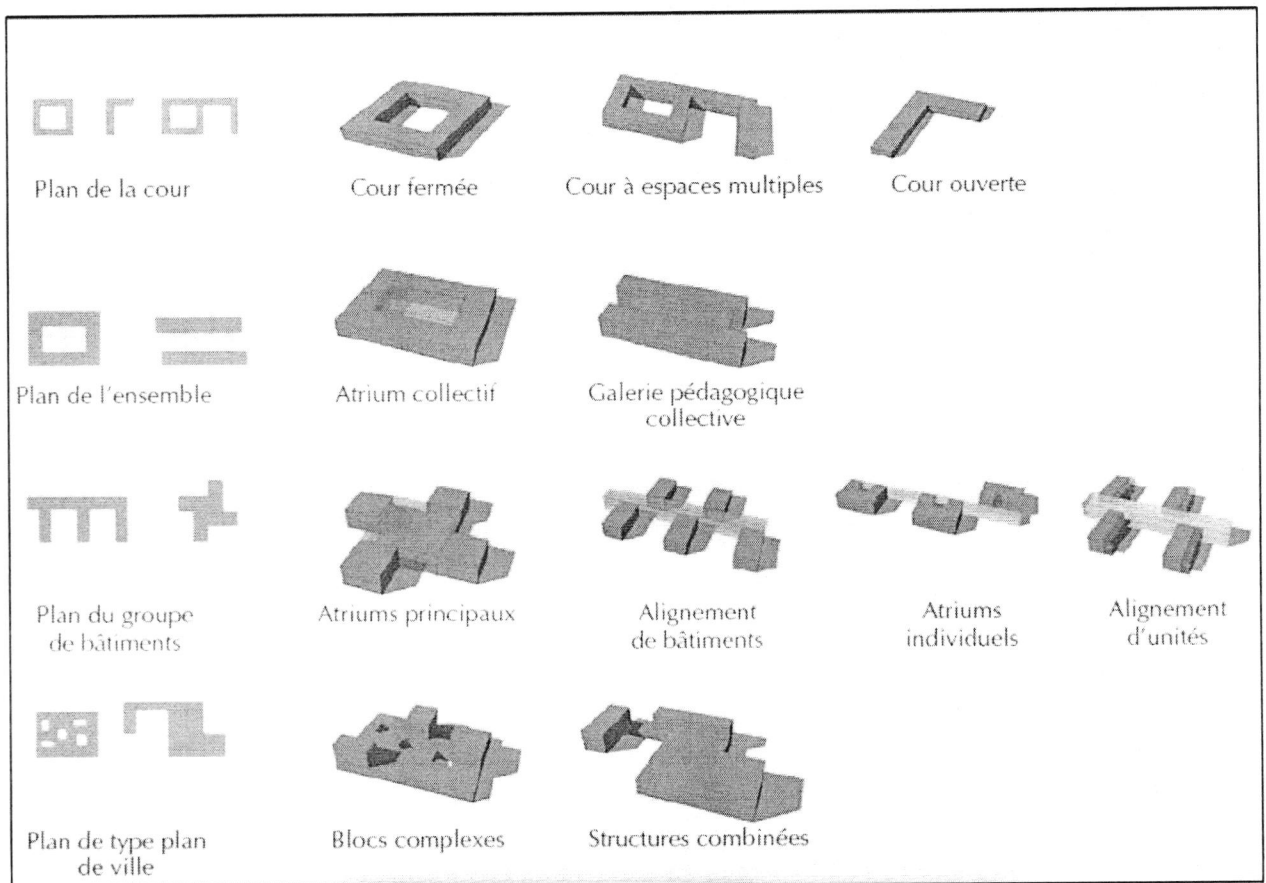


Figure 1. 8: Types de modèles conceptuels de bâtiments scolaires. Source: A. Rigolon, 2010.

Dont, le résultat de cette analyse et son comparaison sortent que le type bloc (plan de l'ensemble) est le type le plus avantageux avec les spécificités suivantes :

- **L'optimisation du rapport net sur brut** : (Mètres carrés didactiques divisés par total des mètres carrés), le type bloc est le plus performant car ses espaces de circulation peuvent être aussi des lieux d'apprentissage (exploitation et économie de la surface).
- **Densité de construction** : les types blocs sont plus susceptibles d'être utilisés dans les zones urbaines ; du fait de leur encombrement compact.
- **Niveau d'éducation** : les blocs sont plus appropriés aux établissements secondaires de fait de leurs cursus qui nécessitent que les groupes utilisent un grand nombre d'espaces différents à la cour de la journée.

Les espaces de socialisation sont pleins de vie par ses mouvements entre les pièces.

Les écoles maternelles suivent souvent le complexe type bloc, qui combine la richesse des espaces intérieurs et la gestion simple d'un bâtiment à un seul étage.

- **Terrain pour les activités d'apprentissage** : ils deviennent plus importants dans le contexte de l'éducation à l'environnement lorsqu'ils sont protégés et bien reliés avec l'intérieure. Les types blocs de ce fait sont les seuls qui peuvent offrir cet espace.

1.3.3. Climat et forme :

Pour finir, la question qui se pose ces jours est ce qu'il y a une interaction entre la forme et le climat ? S'il y a un effet ; quel type de forme qu'on peut choisir pour tel type de climat ? Alors, on étudiera cette interaction dans cette dernière sous-section avec quelques chercheurs dans le domaine qui ont étudié cette interaction depuis des dizaines d'années, 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 »⁵⁸ !

1.3.3.1. L'impact sur l'architecture :

Les chercheurs depuis Hawkes, Olgyay, Depecker et al, Besh ...etc. ont étudié des différents phénomènes climatiques par l'utilisation des bâtiments théoriques, simulation des modèles et chaque un a présenté ses propositions :

Selon « E. Montenegro Iturra »⁵⁹, Depecker et al. (2001) étudient les effets des variations du coefficient de forme ($C_f = \text{surface enveloppe}/\text{volume}$) sur les besoins en chauffage. Sur la base des

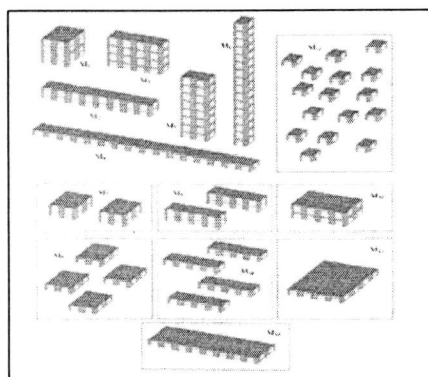


Figure I. 9: Les modèles simulés par Depecker et al (2001).
Source: E. Montenegro Iturra, 2011.

⁵⁸ Said Noha, (2010), op. cit, Cours, p 11.

⁵⁹ Esteban Emilio Montenegro Iturra, (2011), Op. cit, p 61-62.

simulations effectuées à l'aide du logiciel LUCIOLE, ils mesurent le comportement de quatorze types de bâtiment avec la même surface, mais avec coefficients de forme qui varient entre 0,555 et 1,481 (figure 9).

Les climats considérés sont ceux de Paris et Carpentras. Leurs résultats confirment que la consommation énergétique est inversement proportionnelle à la compacité de la forme. Cependant, Depecker et ses collègues posent que ces conclusions seraient valides pour les climats avec hivers froids sévères et faiblement ensoleillés, et elles ne pourraient être appliquées dans le cas des climats doux, qui ne mènent à aucune recommandation de compacité.

Ces conclusions coïncident avec l'étude réalisée par Behsh (2002). Au moyen de simulations effectuées à l'aide du logiciel DEROB-LTH, le chercheur évalue dix formes en termes de leur performance thermique dans un contexte de climat méditerranéen (figure 4). En tenant compte de l'importance du soleil dans ce type de climat, les résultats de Behsh confirment que le choix de la forme et l'enveloppe peut affecter considérablement les conditions de confort intérieur. Cependant dans ce type de climat, la compacité de la forme, représentée par un bâtiment carré,

		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 18	W 18	H 2.5	
								S/V			
Envelope Cases	111SN	s/v 1.18	212SN	s/v 1.18	312SN	s/v 1.18	412SN	s/v 1.12			
	4B	C	H 2.5	L 36	W 18	H 2.5	L 24	W 18	H 2.5	L 18	W 18
										Asw/Aww	
		221SN	s/v 0.82	231SN	s/v 0.73	341SN	s/v 0.7				
		L 24	W 6	H 5	L 16	W 6	H 7.5	L 12	W 6	H 10	
								Asw/Aww			

Figure I. 10: Les dix typologies utilisées par Besh (2002). Source: E. Montenegro Iturra, 2011.

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.

Ourghi et al. (2007), analysent l'influence de la forme d'un bâtiment sur son efficacité énergétique, dans un climat chaud aride. À l'aide des simulations réalisées avec le logiciel DOE-2, ils montrent qu'il existe une forte corrélation entre la forme du bâtiment et sa performance énergétique. De plus, ils ont déterminé que pour le cas étudié, soit un bâtiment à bureaux, la forme optimale serait celle qui est la plus compacte. Cette étude a été complétée par Al Anzi et

al. (2009), en analysant 7 typologies de bâtiments à bureaux (rectangulaire, en forme de L, T, croix, H, U et une forme rectangulaire coupée au coin (figure 5). Les facteurs analysés ont été la compacité, la proportion paroi-fenêtre, et les types de verre. Ces résultats, obtenus avec le même logiciel DOE-2, confirment ceux obtenus par Ourghi et al. (2007). Ils établissent que la consommation énergétique d'un bâtiment dépend de 3 facteurs : sa compacité relative (RC: [volume/surface bâtiment] / [volume/surface bâtiment de référence]), la proportion paroi-fenêtre, et le type de verre utilisé. De plus, ils indiquent que l'impact de l'orientation sur la performance énergétique des bâtiments administratifs serait presque indépendant de la forme du bâtiment, spécialement lorsque le pourcentage fenêtre est faible.

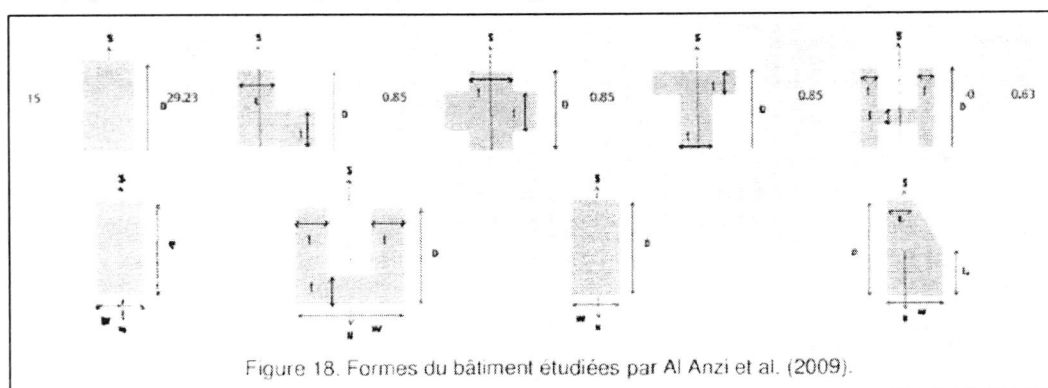


Figure 18. Formes du bâtiment étudiées par Al Anzi et al. (2009).

Figure I. 11: Formes du bâtiment étudiées par Al Anzi et al, 2009.

Source: E. Montenegro Iturra, 2011

I.3.3.2. Recommandations liées aux climats :

Carl Mahoney a mis au point un ensemble de tables destinées à récapituler et à analyser les données climatiques. Ces tables permettent, à partir des caractéristiques climatiques d'une région, de proposer des typologies de plans de masse, de structures, de matériaux ainsi qu'un traitement des surfaces extérieures⁶⁰.

Dans les tableaux récapitulatifs des fiches correspondantes, il utilise des indicateurs qui signalent :

- **H1** : que la circulation d'air est le facteur essentiel.
- **H2** : que la circulation d'air est souhaitable.

⁶⁰ Alain Liébard et d'André De Herde, (2005), « Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques », Observ'ER, Paris, p 150 a-155b.

- **H3** : qu'il y a lieu de prendre des mesures de protection contre la pénétration des eaux de pluie.
- **A1** : qu'il convient d'emmagasiner de la chaleur ou de s'en protéger.
- **A2** : qu'il est souhaitable de prévoir un emplacement en plein air pour dormir. Ce besoin se fait sentir lorsque la température nocturne est élevée et lorsque le niveau d'humidité est faible.
- **A3** : que des précautions sont à prendre en saison froide. Ce cas se présente lorsque la température diurne ou nocturne descend en dessous de la température de confort.

Chaque table formule 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 :

En climat équatorial, les conditions sont relativement uniformes le long de l'année. Les températures sont rarement très élevées (<32 °C) et le vent reste léger. L'essentiel des efforts vise à :

- se protéger efficacement du rayonnement solaire.
- améliorer la ventilation.
- abaisser le taux d'humidité relative.

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.

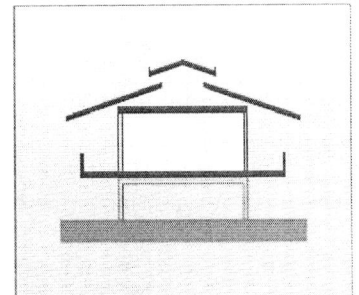


Figure I. 12: Coupe de principe d'un habitat en climat équatorial. Source: A. Liébard et A. De Herde, 2005.

INDICATEURS						RECOMMANDATIONS
H1	H2	H3	A1	A2	A3	
						Plan masse
			x			1. orientation suivant un axe longitudinal E-O
						2. plan compact avec cour intérieure
						Espacements
x						3. grands espacements entre les bâtiments
						4. idem avec protection contre le vent

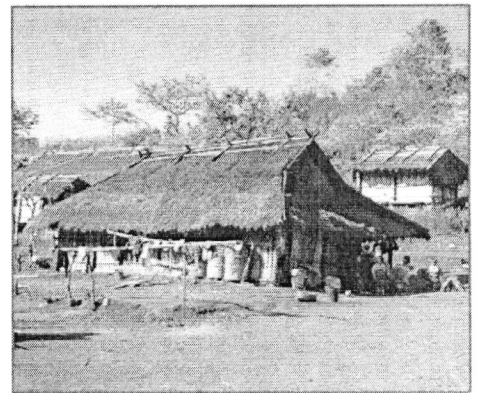
						5. plan compact
						Circulation d'air
x						6. circulation d'air permanente
						7. circulation d'air intermittente
						8. circulation d'air inutile
						Ouvertures
			x	x		9. grandes ouvertures des façades N et S
						10. très petites ouvertures (10 à 20 %)
						11. ouvertures moyennes (20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

Tableau I. 6: La table de recommandations pour le climat de Belem (Brésil).

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. 13: Village traditionnel (Laos),
Source: A. Liébard et A. De Herde, 2005.

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

					6. circulation d'air permanente
			x		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
			x		13. murs massifs
					Toitures
					14. toitures légères et isolantes
			x		15. toitures lourdes
					Sommeil en plein air
				x	16. sommeil en plein air
					Protection contre la pluie
		x			17. protection contre la pluie

Tableau I. 7: La table de recommandations 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. 14: Tapisserie représentant diverses activités en zone tropicale sèche.

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

INDICATEURS						RECOMMANDATIONS
H1	H2	H3	A1	A2	A3	
						Plan masse
			x			1. orientation suivant un axe longitudinal E-O
						2. plan compact avec cour 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
			x			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 %)
			x		11. ouvertures moyennes (20 à 40 %)
					Murs
					12. murs légers
			x		13. murs massifs
					Toitures
			x		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. 8: La table de recommandations pour le climat de Bamako (Mali).
Source: A. Liébard 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.

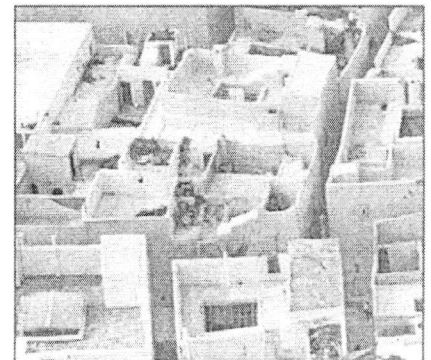


Figure I. 15: Ville de la vallée du M'Zab (Sahara algérien). Source: A. Liébard et A. De Herde, 2005.

INDICATEURS						RECOMMANDATIONS
H1	H2	H3	A1	A2	A3	
						Plan masse
						1. orientation suivant un axe longitudinal E-O
			x		x	2. plan compact avec cour intérieure
						Espacements
						3. grands espacements entre les bâtiments
						4. idem avec protection contre le vent
x						5. plan compact
						Circulation d'air
						6. circulation d'air permanente
						7. circulation d'air intermittente

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

Tableau I. 9: La table de recommandations pour le climat de Bagdad (Irak).
Source: A. Liébard et A. De Herde, 2005.

e. L'insertion dans le climat chaud 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. 16: Eastgate à Harare (Zimbabwe) (arch. M.L.Pearce). Source: A. Liébard et A. De Herde, 2005.

INDICATEURS						RECOMMANDATIONS
H1	H2	H3	A1	A2	A3	
						Plan masse
			x			1. orientation suivant un axe longitudinal E-O
						2. plan compact avec cour intérieure
						Espacements
						3. grands espacements entre les bâtiments
						4. idem avec protection contre le vent
x						5. plan compact
						Circulation d'air
						6. circulation d'air permanente
x	x					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 %)
x			x			11. ouvertures moyennes (20 à 40 %)
						Murs
						12. murs légers
			x			13. murs massifs
						Toitures
						14. toitures légères et isolantes
			x			15. toitures lourdes
						Sommeil en plein air
						16. sommeil en plein air
						Protection contre la pluie
						17. protection contre la pluie

Tableau I. 10: La table de recommandations pour le climat de Nairobi (Kenya).

Source: A. Liébard 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. 17: Première maison solaire passive française en Méditerranée (arch. M.Gerber).

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

INDICATEURS						RECOMMANDATIONS
H1	H2	H3	A1	A2	A3	
						Plan masse
			x			1. orientation suivant un axe longitudinal E-O
						2. plan compact avec cour intérieure
						Espacements
						3. grands espacements entre les bâtiments
x						4. idem avec protection contre le vent
						5. plan compact
						Circulation d'air
x						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
			x		13. murs massifs
					Toitures
					14. toitures légères et isolantes
			x		15. toitures lourdes
					Sommeil en plein air
				x	16. sommeil en plein air
					Protection contre la pluie
		x			17. protection contre la pluie

Tableau I. 11: La table de recommandations pour le climat de Tel-Aviv (Palestine occupé).

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

I.3.3.3. Synthèse :

On voit que l'Algérie est un continent ; très riche en plusieurs échelles climatiques qui dépendent évidemment aux spécificités locales de chaque région (l'altitude, le vent,... etc.). De même que, la classification récente selon Ould Hnia A. définit trois zones climatiques d'hiver et cinq zones climatiques d'été⁶¹, de plus, chaque région climatique a ses propres caractéristiques. Pour cela le climat est plus qu'un simple phénomène, et l'architecture pour sa part doit être plus qu'un édifice rigide et dur. Partant de ce fait, l'idée qu'il faut vivre avec le climat selon Mahoney, Olgay et toutes les chercheuses ; prendre plusieurs dimensions dès la phase d'esquisse ; concernent le choix de la forme, stratégies conceptuelles et stratégies d'éléments de conception.

⁶¹ Ould Henia Amina, (2003), « Choix climatique et construction. Zone aride et semi arides. La maison à cour de Bou Saada », Thèse de doctorat, Ecole Polytechnique de Lausanne (EPFL), Lausanne, p 36-37.

1.4. Conclusion :

À partir de ces différentes manières de penser du problème posé, on propose en premier lieu ; d'éviter l'opération de l'adaptation ou de décréter un nouvel article relatif à cette opération ; à condition de limiter son usage dans les zones climatiques ayant les mêmes caractéristiques, et de modifier l'article 11 du décret n° 94-07 ; afin d'interdire de faire un autre usage de n'importe quelle étude.

En deuxième lieu ; de repenser l'espace scolaire à travers la critique honnête, et créer un nouveau guide de construction scolaire, dont les caractéristiques du bâtiment et tous ses espaces doivent toujours répondre aux besoins didactiques et sociaux des tendances actuelles de l'enseignement et de l'apprentissage.

En dernier lieu, d'essayer de créer une combinaison équilibrée entre la forme adéquate à l'apprentissage qui assure les exigences didactiques et favoriser l'expression du bien-être de l'enfant de la part, et la forme la plus performante énergétiquement d'autre part.

Dans l'ensemble, dans notre cas, on a vu que la forme compacte et la plus appropriée pour tous les établissements d'éducation et d'enseignement, notamment pour l'enseignement préparatoire et secondaire (l'école préparatoire et le lycée), l'efficacité de cette forme par rapport à la forme du ministère et la solution qu'on peut proposer pour cette dernière forme restent à vérifier dans le chapitre suivant.

Deuxième Chapitre : Cadre Pratique.

Première Section : Méthodologie (Préparation des Formes à la Simulation).

II. Deuxième Chapitre : Cadre Pratique

Première Section : Méthodologie

II.1. Introduction :

Dans cette recherche-là, on verra le potentiel passif offert par différentes formes des bâtiments scolaires dans le contexte de climat chaud et sec à la commune d'Ouled Derradj de la wilaya de Msila. Et établissent une comparaison de consommation d'énergie et d'impact sur l'environnement entre le modèle du plan type du ministère et trois (03) autres-modèles que l'on a choisis (deux formes proposées et une forme existante améliorée) afin de vérifier le modèle le plus adéquat énergétiquement pour notre région. Le choix de ces types de modèles se fait selon une étude de l'architecture scolaire en Algérie et en Europe, et selon « proposition d'une vision critique générale des différents types de bâtiments scolaires en Europe »⁶² que l'on a les discutent au premier chapitre, et on a constaté l'importance de la forme « plan compact ».

Tout cela fait à l'aide d'un logiciel de simulation thermique dynamique : nommée "EcoDesigner STAR", qu'est une extension pour le logiciel de modélisation 3D connu "ArchiCAD", et enfin, on établit une interprétation pour les résultats obtenus.

II.2. La méthodologie de travail :

Pour commencer, on peut voir qu'il est indispensable de connaître les différentes caractéristiques de la région et les données climatiques locales afin de définir l'environnement du projet lors de la simulation et l'estimation des besoins énergétiques après. Pour cela, nous étudierons les différentes caractéristiques du cas d'étude et précisément la salle de classe ; afin de construire les différentes formes proposées avec les mêmes propriétés qualitatives et quantitatives ; qui sont l'une des données de base pour la simulation, et enfin on présente l'outil choisi pour la simulation thermique dynamique ; avec quelques avantages et inconvénients.

II.2.1. Critères de choix de la wilaya de Msila :

La localisation de la population à travers le territoire de la wilaya reste très disproportionnée, le chef-lieu de la wilaya de Msila et la commune de Boussaâda et Sidi Aïssa

⁶² Alessandro Rigolon, (2010), *Ibid.*

porte plus de 38% de la population, avec une densité de 925 hab/km², et 614 hab/km² dans les deux communes ; Msila et Boussaâda. Plus de 62% de la population réside dans les agglomérations chef -lieu, 12% dans les agglomérations secondaires, et 26% de la population en zone épars⁶³.

Alors on propose cette recherche pour tout type d'agglomération, et spécifiquement pour les villages en extension comme notre cas d'étude ; qui se situent dans la commune d'Ouled Derradj et porte 2.54% de la population de la wilaya avec 30 529 hab, pour maîtriser énergétiquement la ville dès le début, et pour trouver des solutions architecturales pour ce genre de climat présaharien connu par des difficultés de traitement de la grande différence en température –en particulier- entre l'hiver et l'été.

II.2.2. Présentation de la wilaya de Msila :

Msila est une wilaya algérienne connue par la capitale d'El-Hodna, le nom qu'elle arrive de sa situation entre les deux grandes chaînes de montagnes que sont l'Atlas Tellien et l'Atlas Saharien. Dans ses limites actuelles, elle occupe une position privilégiée dans la partie centrale de l'Algérie du nord dans son ensemble, elle fait partie de la région des hauts plateaux du centre.

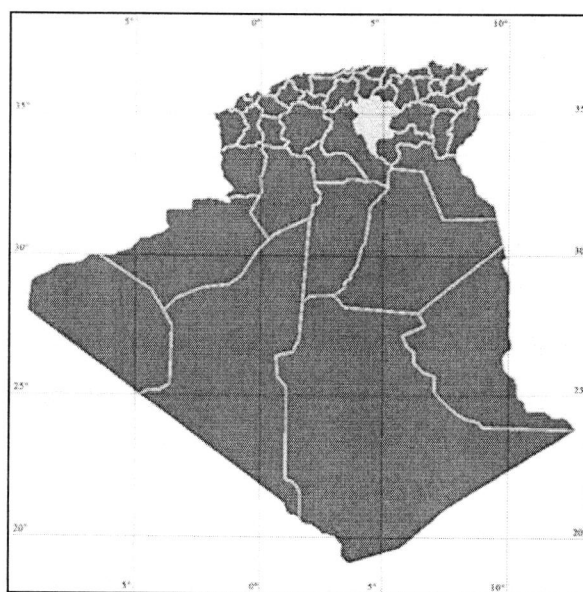


Figure II. 1: Situation géographique de la wilaya de Msila à l'échelle nationale.

Source : http://www.arraya-tours.net/2013/02/blog-post_9311.html,

Réadapter par l'auteur.

⁶³ Wilaya de M'sila, (2015), Revue de la wilaya, « wilaya de M'sila par les chiffres année 2014 », p 11.

La wilaya s'étend sur une superficie de 18 075 km². Elle est issue du découpage administratif de 1974, dont elle comprend actuellement 15 daïras et 47 communes.

La wilaya donc compte une population de 1 029 447 habitants selon le recensement de 2010, et est estimée au décembre 2014 à 1 200 669, soit une densité moyenne de 66 habitants/km².

II.2.2.1. Situation géographique :

La wilaya de Msila se trouve dans la partie Sud-Est des hauts-plateaux ; à une latitude de 35.8° 40' 0" Nord, une longitude de 04° 30' 0" Est, avec une altitude de 441 mètres au-dessus du niveau de la mer. Ses limites territoriales se résument comme suit :

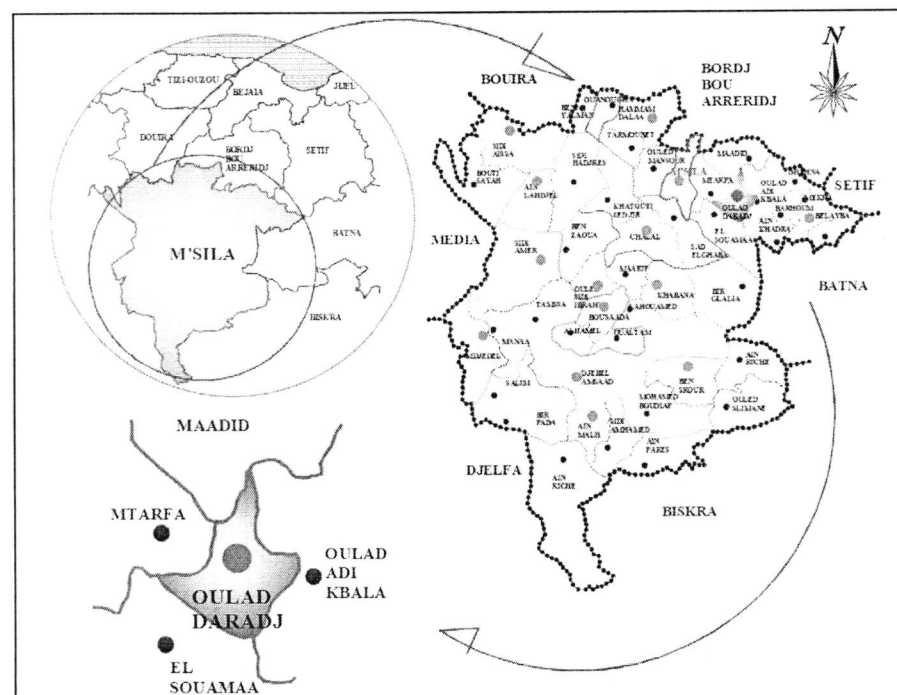


Figure II. 2: Les limites territoriales d'Ouled Derradj et de la wilaya de Msila.

Source: Auteur.

a. Contexte national :

La ville de Msila se situe à 250 km au Sud-Est de la capitale du payé.

b. Contexte régional :

La wilaya est délimitée par :

- Le Nord : Les wilayas de BBA et Bouira.
- Le Nord Est : La wilaya de Sétif.
- Le Nord-Ouest : La Wilaya de Médéa.
- L'est : La wilaya de Batna
- L'Ouest et le Sud-Ouest : La Wilaya de Djelfa.
- Sud Est : La wilaya de Biskra.

c. Contexte local du site :

La commune d'Ouled Derradj est délimitée par :

- Le Nord : la commune de Maadid.
- L'Est et le Sud Est : la commune d'Ouled Adi Leguebela.
- L'Ouest : la commune de Metarfa.
- Le Sud et Sud-Ouest : la commune Souamaa.

d. Le relief :

Le territoire de la Wilaya constitue une zone charnière et de transition entre les deux grandes chaînes de montagnes qui sont :

- L'Atlas Tellien atteint 1100 m au côté intérieur de la limite de la wilaya (à maadid) avec BBA, et environ de 1800 m au côté de de cette dernière.

Le coté de Ouanougha la hauteur soit de 1200 à 1800 m.

- L'Atlas Saharien atteint une hauteur d'environ 1300 m à Jbal Massaad.

La configuration géographique y est comme suit :

- Une zone de montagnes de part et d'autre du Chott El Hodna
- Une zone centrale constituée essentiellement de plaines et de hautes plaines.
- Une zone de chotts et de dépression avec le Chott El Hodna au Centre Est et le Zahrez Chergui au Centre Ouest.
- Une zone de dunes de sable éolien.

II.2.2.3. Les données climatiques :**a. Zones climatiques :**

La wilaya de Msila à l'influence de sa latitude, OULD-HENIA A. (2003) l'a classifié dans la région présaharienne ; dans la zone climatique d'hiver **H3a** qui est remarquable par des hivers très froids la nuit par rapport au jour ; et dans la zone **E3** à des étés très chauds et secs⁶⁴. Le climat de la wilaya est caractérisé par ce qui suit :

b. La température de l'air :

Durant les années entre 2012 et 2016, la station météorologique de Msila enregistrée des températures moyennes mensuelles dans la ville ; allant à 8.9 C° en janvier (le mois le plus froid de l'année), et à 32.5 C° en juillet et aout (les mois les plus chaud de l'année).

⁶⁴ Ould Henia Amina, (2003), op. cit, p 37-38.

LA TEMPERATURE MOYENNE MENSUELLE EN (C°)

ANNEE	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AUT	SEP	OCT	NOV	DEC	MOY
2012	8,0	6,6	13,7	16,3	24,1	31,3	33,9	33,7	26,6	20,8	14,5	9,2	19,9
2013	8,8	8,0	14,0	18,4	21,0	26,9	32,0	34,0	30,0	26,7	23,9	12,9	21,4
2014	9,6	11,5	12,8	19,7	23,2	27,6	31,8	32,5	28,1	22,1	15,4	9,1	20,3
2015	8,2	8,5	13,9	20,3	25,2	27,9	32,8	31,4	25,9	19,5	13,6	8,8	19,7
2016	10,0	11,4	13,0	19,2	22,9	28,7	32,0	30,8	25,9	21,8	13,5	9,0	19,9
MOY	8,9	9,2	13,5	18,8	23,3	28,5	32,5	32,5	27,3	22,2	16,2	9,8	

Tableau II. 1: La température moyenne mensuelle de Msila pour les années (2012-2016).

Source : station météorologique de Msila.

La différence remarquable dans la température de l'air en hiver, c'est que la nuit est très froide par rapport le jour, environ de 10 C°, et de différence de 23 C° entre l'hiver et l'été, tout ça rend les écarts de température très importants pendant la journée et l'année, puis rend difficile de trouver des solutions architecturales et bioclimatiques face aux ce phénomène.

c. Les vents :

La vitesse moyenne de vent enregistrée dans cette région balancé entre 3.6 et 5.4 m/s, dont les mois d'octobre et décembre sont les plus lents, et pour les autres mois la vitesse est presque constante.

Les vents dominants pour cette région d'étude sont humides pendant la saison hivernale proviennent du nord et nord-ouest, durant la saison sèche proviennent du sud et sud-est.

VITESSE DE VENT MOYENNE MENSUELLE EN M/S

ANNEE	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AUT	SEP	OCT	NOV	DEC	MOY
2012	4	5	5	6	4	4	5	5	4	5	4	4	5
2013	5	5	7	5	6	5	4	4	4	4	5	3	5
2014	4	4	5	5	5	5	4	4	3	3	4	5	4
2015	5	6	6	4	5	4	4	4	5	4	4	2	4
2016	3	5	5	5	5	5	4	4	4	4	5	4	4
MOY	4,18	5	5,44	4,92	5,02	4,58	4,2	4,28	4,06	3,92	4,36	3,66	

Tableau II. 2: Bilan vitesse de vent moyenne mensuelle de Msila en m/s (2012-2016).

Source : station météorologique de Msila.

d. L'humidité relative :

Comme le tableau s'explique ; le climat généralement considéré comme semi-aride, il est clairement remarquable dans le tableau ci-dessous par le pourcentage de l'humidité ; que la période d'hiver est la plus élevée, et la différence reste grande entre les saisons opposants (été 27.8% et hiver 73.8%).

L'HUMIDITE - MOYENNES MENSUELLES (%)													
ANNEE	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AUT	SEP	OCT	NOV	DEC	MOY
2012	79	67	56	71	42	33	25	25	39	57	76	76	54
2013	74	67	57	51	49	39	32	34	48	50	67	81	54
2014	77	64	61	44	43	41	28	31	43	45	64	76	51
2015	71	73	59	46	39	36	28	36	47	62	63	67	52
2016	65	61	53	50	40	30	26	30	42	48	65	69	48
MOY	73,2	66,4	57,2	52,4	42,6	35,8	27,8	31,2	43,8	52,4	67	73,8	

Tableau II. 3: L'humidité relative moyenne mensuelle de Msila (2012-2016).

Source : station météorologique de Msila.

e. Les précipitations :

Les précipitations sur Msila sont caractérisées par la rareté, sur le bilan pluviométrie des cinq derniers ans ; on distingue que les quantités des précipitations sont purement saisonniers, dont elle augmente en printemps (du mois de mars au mois de mai) à l'environ de 20 mm, et en automne (du mois de septembre au mois de novembre) à l'environ de 25 mm, et baisse presque jusqu'à la moitié en hiver par 10 mm, et presque inexistante en été par 5 mm.

BILAN PLUVIOMETRIE MOYENNE MENSUELLE EN (MM)													
ANNEE	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AUT	SEP	OCT	NOV	DEC	TTL
2012	NT	2	31	21	4	1	1	4	59	27	9	9	168
2013	15	10	21	27	14	NT	5	7	6	38	29	28	200
2014	20	7	19	NT	50	11	6	2	13	2	27	13	170
2015	12	25	13	6	6	3	NT	16	27	51	NT	NT	159
2016	5	8	12	50	22	NT	14	NT	5	9	16	14	155
MOY	10,4	10,4	19,2	20,8	19,2	3	5,2	5,8	22	25,4	16,2	12,8	

Tableau II. 4: Les précipitations moyennes mensuelles de Msila (2012-2016).

Source : station météorologique de Msila.

f. L'ensoleillement :

A travers sa situation dans la région des hauts-plateaux, la wilaya selon le (CDER)⁶⁵ reçoit une durée moyenne d'ensoleillement de 3058 heures/an, dont L'énergie reçue quotidiennement est de 5.6 kWh/m².

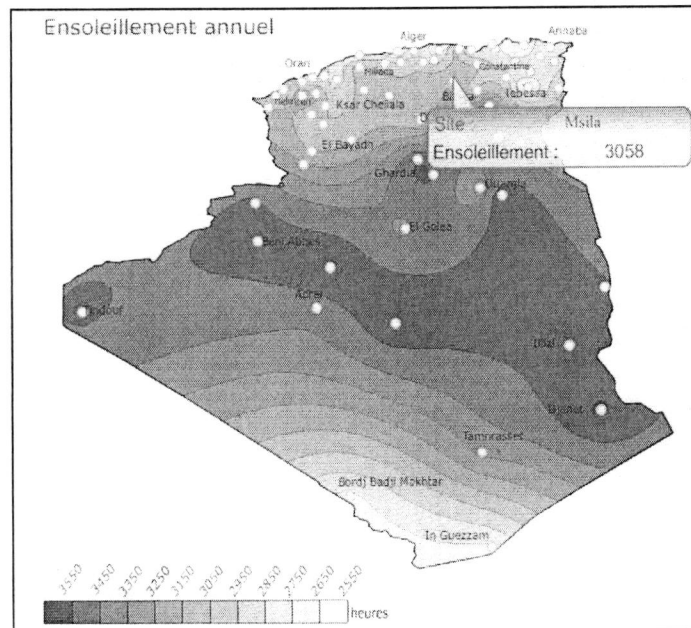


Figure II. 3: Carte de l'irradiation globale et de l'ensoleillement en Algérie. Source : Carte solaire (CDER) 2017.

II.2.2.4. L'indice d'aridité annuel de la ville :

L'indice d'aridité (E. De Martonne, 1923) est défini comme le rapport entre la hauteur moyenne des précipitations annuelles et la moyenne des températures annuelles. C'est une valeur utile pour exprimer les conditions climatiques d'un lieu. L'indice est donné par la formule suivante : $I.a = P/t^{\circ} + 10$. Où :

I.a : l'indice d'aridité annuel,

P : précipitations annuelles,

T : température moyenne annuelle en C°.

En appliquant cette formule pour la ville de Msila ; on trouve le suivant :

En prend les valeurs de l'année dernière passée :

⁶⁵ CDER, Portail des Energies Renouvelables en Algérie, (2017), « Cartes de l'irradiation globale et de l'ensoleillement en Algérie », Réseau CHEMS & Application, Carte solaire", Url : <http://portail.cder.dz/spip.php?rubrique66>, Page consulter le : 29 Août 2017.

$I.a = 12.91 / 19.9 + 10$, Donc : $I.a = 10.64$.

L'interprétation de cet indice se fait comme suit :

L'indice d'aridité Type de climat	
$0 < I.a < 5$	Hyper aride
$5 < I.a < 10$	Aride
$10 < I.a < 20$	Semi-aride
$20 < I.a < 30$	Semi-humide
$30 < I.a < 55$	Humide

Tableau II. 5: L'interprétation de l'indice d'aridité. Source: Auteur.

L'indice d'aridité se situe entre 10 et 20, le climat de Msila est donc ; un climat semi-aride.

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

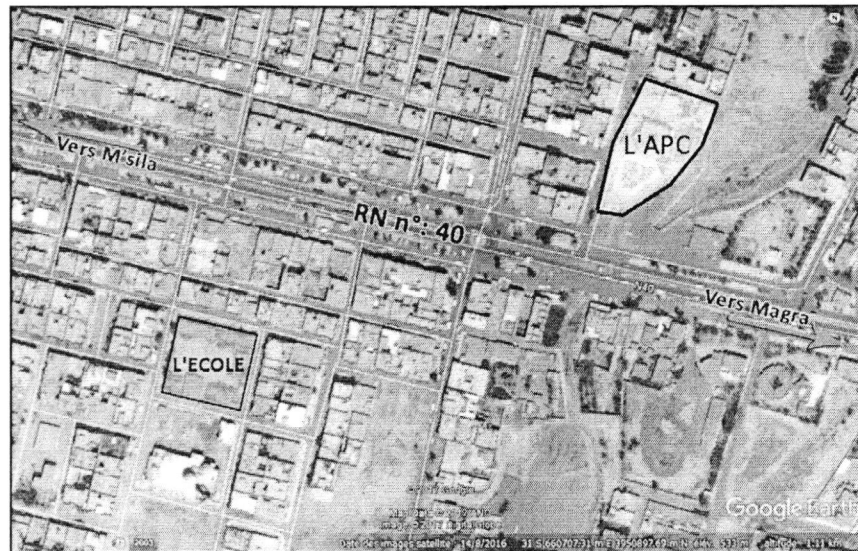


Figure II. 4: Plan de situation de l'école. Source : GOOGLE EARTH (réadapté par l'auteur)

L'école Elghazali est une école typique du type D à douze salles de classe⁶⁶ ; construite en 26/12/1989. Le choix du cas d'étude a été motivé par la configuration d'exigence qu'on a émis au préalable afin d'obtenir les résultats escomptés. Cette exigence est :

- La conception architecturale du bâtiment est celle du plan type proposé par le ministère de l'éducation, dont le bâtiment en premier temps été de type B (à 6 salle de classe) ; en un seul bloc d'une forme linière ; ayant une orientation Est-Ouest. Après l'augmentation au nombre d'élèves, l'administration a décidé de faire une extension et construire des autres blocs, sont les :

⁶⁶ Ecole Elghazali, (2017), « Enquête scolaire exhaustive "Livret statistique" », Direction des structures et des équipements, Ministère de l'éducation nationale.

salles de classe, deux salles préparatoire, sanitaire, cantine et une salle internet. L'école actuellement de type D avec douze salles de classe.

II.2.3.1. Plan masse de l'école :

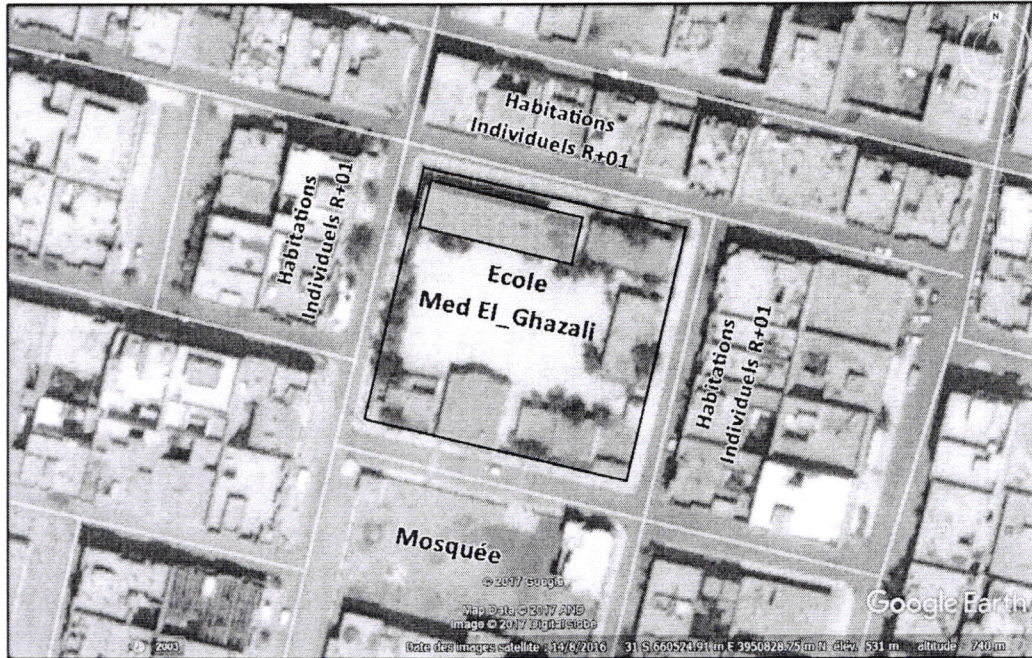


Figure II. 5: Plan de masse de l'école. Source : GOOGLE EARTH (réadapté par l'auteur).

L'établissement occupe une surface de 4 800 m² ; dont la surface construite est de 1014m². Elle est conçue en premier temps sous forme de "I" orientée Est-Ouest, et est implantée en retrait par rapport à la rue principale. Elle est entourée par des habitations individuelles (R+1) des cotés Est, Nord et Ouest, Tandis que le côté Sud est occupé par une mosquée. L'école maintenant constituée en sept (07) blocs séparés l'un de l'autre.

II.2.3.2. Matériaux :

Après 27 ans de sa réalisation, on n'a trouvé aucun document concernant les matériaux de construction utilisés pour l'école, alors l'état des lieux se fait par notre expérience dans le domaine d'architecture ; on a pu avoir une idée sur les prescriptions techniques de sa réalisation ainsi que les matériaux utilisés :

- Le système constructif poteau-poutre se réalise en béton armé.
- Planchers **20 cm** (16 + 04) en corps creux.
- Maçonnerie en parpaing plain de ciment de **20 cm** ; pour murs extérieurs et intérieurs.

- Maçonnerie en brique creuse de **10 cm** ; pour murs extérieurs.
- Enduit intérieur au mortier de ciment sur murs intérieurs et extérieurs.
- Porte vitrée en bois rouge (**2,55 x 1.00**) m.
- Fenêtre en bois (**1.70 x 2.00**) m, avec verre simple 3mm.

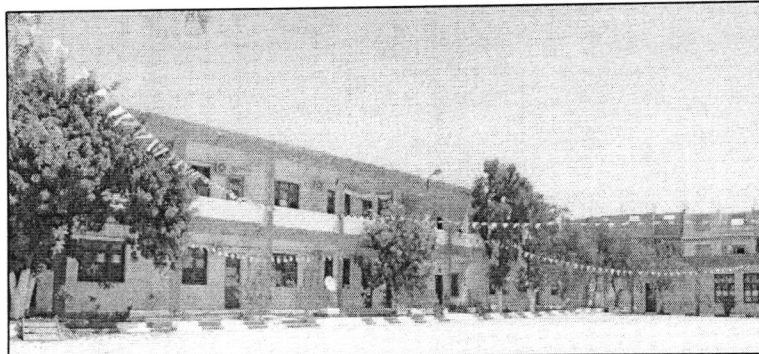


Figure II. 6: Environnement immédiat de l'école primaire. Source : Auteur.

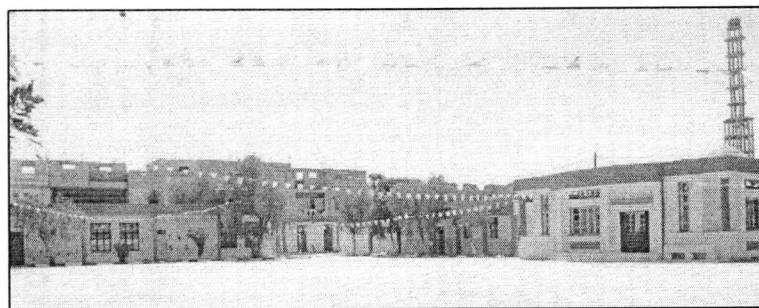


Figure II. 7: Environnement immédiat de l'école primaire. Source : Auteur.

II.2.1.3. Caractéristiques des salles de classe :

Nous avons choisi le premier bloc construit, le bloc de six (06) salles en (r+01) ayant l'orientation Est-Ouest.

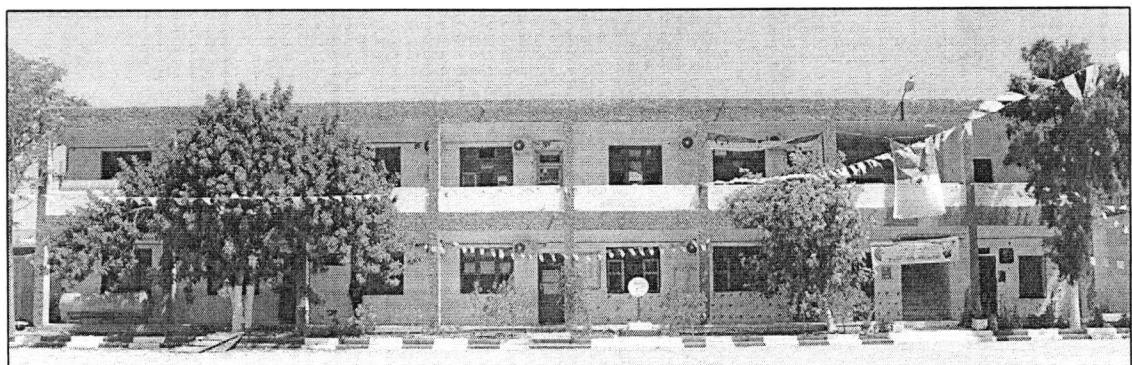


Figure II. 8: le premier bloc construit de l'école, un bloc de 6 S.D.C. Source : Auteur.

a. Dimensions :

- La salle de classe est de **7.04 x 9.00 m**.
- Soit une surface de **63.36 m²** Avec une hauteur de **3.20 m**.
- Le volume de la salle est de **202.75 m³**.

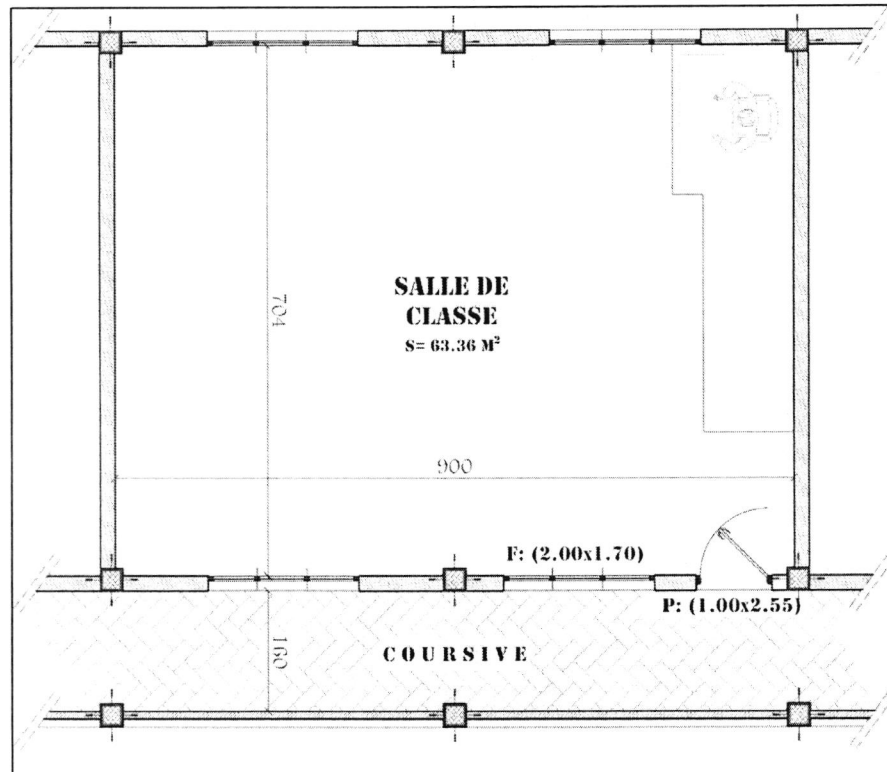


Figure II. 9: Dimensions de la salle de classe. Source : Auteur.

b. Orientation :

La conception du bloc en mono rangé offre aux salles de cours une double orientation. En effet, chaque salle bénéficie de deux orientations ; une au Nord vers l'extérieur et autre au Sud vers la coursive.

c. Degré d'ouverture :

La salle de classe est de **63.36 m²**, contient quatre (04) fenêtres dont deux donnent sur l'extérieur et deux donnent sur la coursive.

Chaque fenêtre est de 01.70 m x 02.00 m, soit une surface de 3.40 m².

La surface totale des quatre fenêtres : $3.40 \times 4 = 13.60 \text{ m}^2$.

La surface des ouvertures représentent **23.11%** de la surface du plancher de la salle.

d. Nombre des élèves :

L'école objet de notre étude, contient douze (12) classes, et 18 groupes, avec un nombre total de 547 élèves. Dans chaque classe nous retrouvons entre 30 et 35 élèves, soit une moyenne de 30 élèves par classe.

Les salles de classe ont des surfaces de **63.36 m²** pour chaque 'une.

Le nombre des élèves prévu est de 30 élèves par classe, soit une moyenne de : **02.11m²** par élève.

La consommation, les besoins en tous format d'énergie et les différents effets sur l'environnement se résument au terme "Estimation énergétique", le groupe de (GRAPHISOFT)⁶⁷ se définit cette dernière comme « une fonction permettant aux architectes d'estimer et de contrôler les paramètres du projet jouant un rôle dans la performance énergétique du bâtiment. La fonction Estimation énergétique permet une estimation énergétique dynamique et fiable à tous les stades de la conception, permettant ainsi une prise de décision concernant l'efficacité énergétique du bâtiment »⁶⁸.

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

⁶⁷ GRAPHISOFT : Société hongroise faisant partie du groupe allemand NEMETSCHKE, elle développe le logiciel ArchiCAD.

⁶⁸ GRAPHISOFT, (2015), Guide d'utilisateur EcoDesigner sur ArchiCAD version 18.

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 conception⁶⁹.

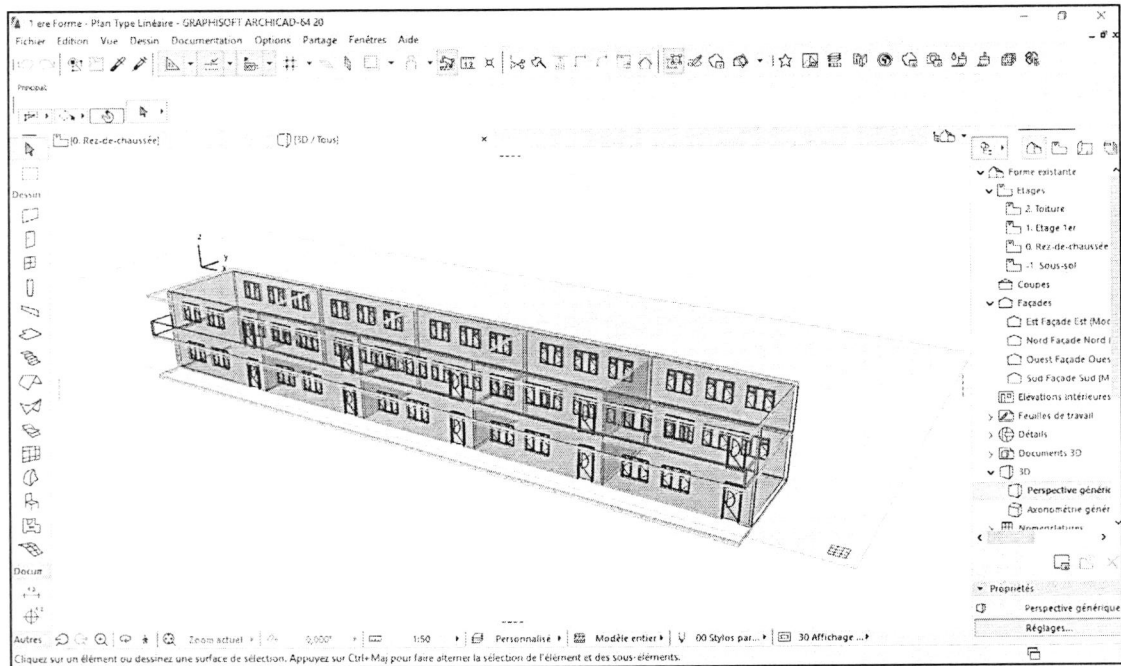


Figure II. 10: L'interface du logiciel ArchiCAD. Source: Auteur.

II.3.1. Critères du choix d'EcoDesigner STAR (version 4.6.16) :

Les dix derniers années connus une concurrence énorme dans le domaine de simulation énergétique et ses logiciels, notamment après la grande sensibilisation au réchauffement climatique dans le monde entier. Au sein de cette compétition ; les différences entre ces logiciels viennent à diminuer. Un logiciel fait la grande différence de l'intégration des fonctions de simulation dans un logiciel spécifié 100% aux architectes, et voici quelques avantages et inconvénients de ce logiciel :

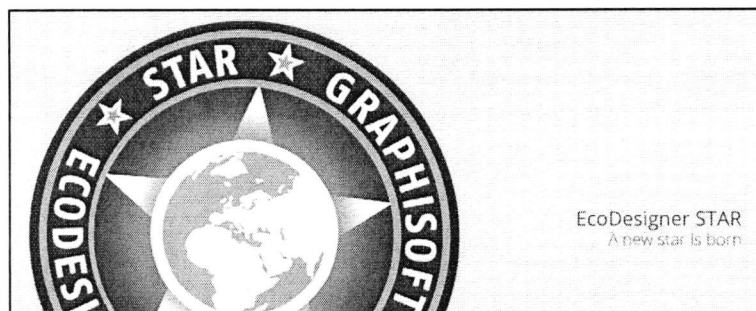


Figure II. 11: Interface de logiciel EcoDesigner STAR, version 4.6.16.
Source: Brochure de marketing EcoDesigner STAR, 2017.

⁶⁹ GRAPHISOFT, (2017), Brochure de marketing EcoDesigner STAR.

II.3.1.1. Les avantages du logiciel :

GRAPHISOFT EcoDesigner Star permet rapidement et efficacement aux architectes

d'évaluer les alternatives d'esquisses basées sur la consommation énergétique.

Les architectes peuvent évaluer la performance d'énergie directement d'ArchicAD ! Avec

EcoDesigner Star, l'ArchicAD la construction virtuelle devient encore plus intelligent "BEM" model,

dès la première phase de conception d'esquisses.

- **Directe BIM à BEM** : rend l'ArchicAD "building information model" vers "building energy

model" avec un minimum d'effort.

- **Rationalisé 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 directe des

canaux est disponible vers PHP, VIP-Energy et iSBEM, tandis que le fichier exporté gbXML et la

feuille de calcul détaillé XLS ; permet la 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

référéncée 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 : model-base de l'étude solaire et des mécanismes d'ombrages :** l'étude d'irradiation solaire basée sur le modèle calcul de pourcentage d'ouverture de la surface exposée à la lumière directe du soleil pour chaque heure et d'une année entière.
- **Model-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 détaillé 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 bloc 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 but spécifique dans le bâtiment.

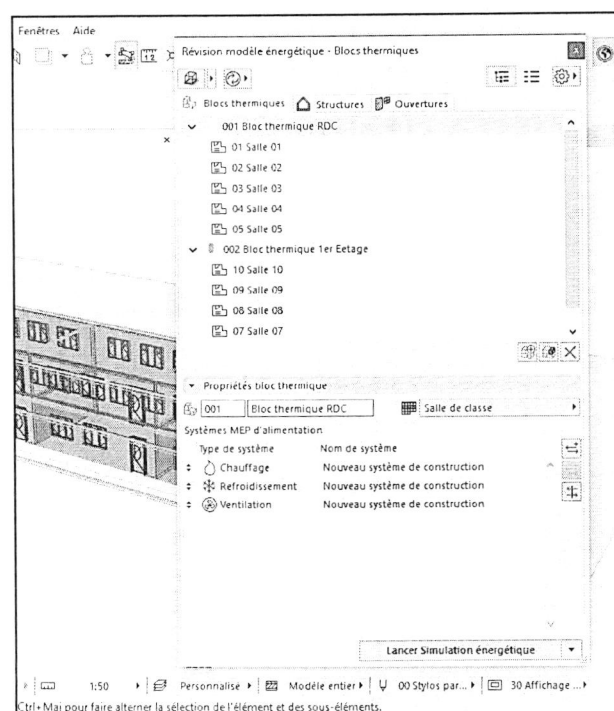


Figure II. 12: L'interface d'EcoDesigner STAR, version 4.6.16, Source auteur.

- **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 inclus dans les rapports d'évaluation énergétique.

II.4. Données de bases :

Préparation des modèles pour la simulation sous EcoDesigner STAR :

Modélisation de la forme (Identification des données).

Les formes que l'on veut étudier dans cette recherche, 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 ; ceux qui sont permis de différencier entre les performances énergétiques de chaque forme, et choisira finalement la plus appropriée entre eux.

On a précisé les mêmes et les nécessaires paramètres dans toutes les simulations à effectuer pour ces formes, car on besoin juste au différence de l'impact sur les performances thermiques et à la consommation énergétique entre les différentes formes (la seule variable indépendante).

Les valeurs des cibles énergétiques comme l'éclairage, les équipements et l'eau chaude sanitaire ont été élaborées sur le standard ASHRAE 140-2007 et ont été déjà chargées dans les profils d'usages d'EcoDesigner STAR. Le profil "Salle de classe" que l'on a utilisé pour les zones de salle de classe, et le profil "Non climatisé" que l'on a l'utilisé pour les zones de circulation : les atriiums et les coursives.

II.4.1. L'occupation par les personnes :

Les valeurs de l'activité de lecture ou écriture en position assise, ils ont établi un taux métabolique de 60 W/m^2 .

a. Densité d'occupation :

La salle de classe est en forme rectangulaire, ayant dimensions $7.04 \times 9.00 \text{ m}$. Soit une surface de 63.36 m^2 , avec une hauteur de 3.20 m .

L'école objet de notre étude, contient six (06) classes, trois (03) dans chaque niveau. Dans chaque classe nous retrouvons en moyenne 30 élèves.

Alors dans notre cas la densité d'occupation est de **2.11 m²** par élève.

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 : 8 h 00 à 17 h 00.

II.4.2. Système de ventilation, chauffage et de climatisation :

Dans le climat semi-aride de Msila 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, de climatisation et de ventilation naturelle.

II.4.3. Les données météorologiques :

Les données climatiques de la ville de Msila ; doivent être fournies pour EcoDesigner afin de finir ses fonctions correctement. On a ramené les données horaires de climat de la base des données du site « Energy plus »⁷⁰. Le logiciel ouvre une multitude de choix de fichiers climatiques pour les importés. Le fichier que l'on a fourni pour le logiciel est un fichier à l'extension CSV.

L'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).
- Direction du vent en degrés par rapport au sud.
- 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).

⁷⁰ Département de l'énergie des États-Unis, (2017), "Weather Data", Type de support : "csv", <https://energyplus.net/weather>, Consulter le : 21 Août 2017.

II.5. Variables indépendantes :

II.5.1. Forme du bâtiment :

a. Construction des formes sous ArchiCAD :

Description des types de modèles conceptuels préparés à la simulation :

On a quatre types à modélisé, le premier est le plan type du model linéaire adapté 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 Est-Ouest, contient l'essentiel du projet « les salles de classe » ; avec une coursive ou atrium et une terrasse plate inaccessible.

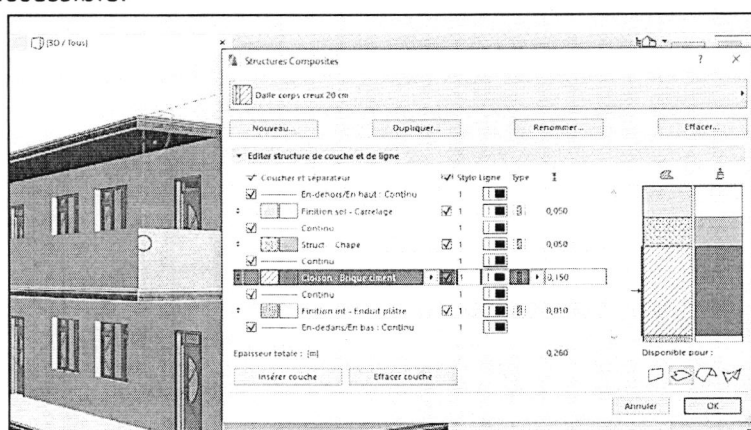


Figure II. 13: Insertion et modification de composition des murs et planchers sous ArchiCAD. Source: Auteur.

b. Description des caractéristiques des parois, planchers et des ouvertures selon les données de bases :

Murs			
Nom	Couches	Epaiss	Caractéristiques thermiques (Conductivité thermique λ)
Murs Extérieurs et intérieurs de 20 cm	Enduit au mortier en ciment	01 cm	0.80 w/mk
	Maçonnerie en parpaing plein de ciment	20 cm	0.60 w/mk
	Enduit au mortier en ciment	01 cm	0.80 w/mk
Mur Extérieure simple de 10 cm	Enduit au mortier en ciment	01 cm	0.80 w/mk
	Maçonnerie de brique creuse	10 cm	0.58 w/mk
	Enduit au mortier en ciment	01 cm	0.80 w/mk
Planchers			
Dallage 30 cm	Carrelage	05 cm	0.58 w/mk
	Béton lourd	10 cm	0.44 w/mk
	Pierre naturelle	15 cm	2.30 w/mk

Les planchers intermédiaire en corps creux de 20 cm	Carrelage	05 cm	0.58 w/mk		
	Béton lourd	04 cm	0.44 w/mk		
	Hourdis en béton	16 cm	0.58 w/mk		
	Enduit au plâtre	01 cm	0.57 w/mk		
Plancher haut (toiture terrasse) 20 cm	Gravier	03 cm	1.40 w/mk		
	Feuille d'aluminium	01 mm	160.00 w/mk		
	Bitume	05 mm	0.70 w/mk		
	Béton lourd	04 cm	0.44 w/mk		
	Hourdis en béton	16 cm	0.58 w/mk		
	Enduit au plâtre	01 cm	0.57 w/mk		
O u v e r t u r e s					
Type		S. totale	S. opaque	S. vitré	λ
Portes vitrée en bois rouge (1.00 x 2.55)		2.55 m ²	1.78 m ²	0.83m ²	0.18 w/mk
Fenêtres en bois (2.00 x 1.70)		3.40 m ²	1.05 m ²	2.35m ²	

Tableau II. 6: Description des caractéristiques des parois, planchers et des ouvertures du cas d'étude.

Source: Auteur.

II.5.1. Les types de modèles conceptuels proposés à la simulation :

On considère trois formes de base en fonction des conclusions effectuées dans le premier chapitre. Ces types vont prendre ces descriptions durant la simulation : "modèle existant" pour la forme existante, "1^{er} modèle" pour la forme à atrium collectif, "2^{me} modèle" pour la forme à galerie pédagogique collective et on propose de plus un "3^{me} modèle" comme une forme existante améliorée, qu'est l'un des formes connu dans le monde entier.

II.5.1.1. Le model du cas d'étude (modèle existant) :

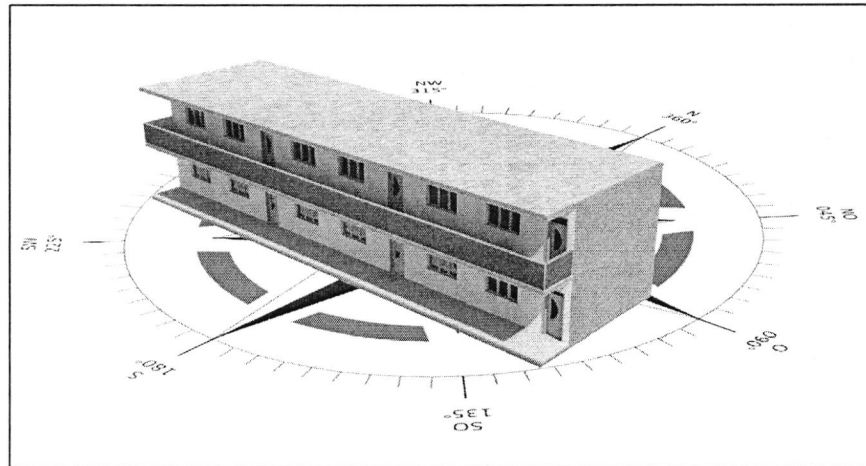


Figure II. 14: La forme existante, modèle du cas d'étude. Source: Auteur.

L'école en réalité se compose de trois blocs séparés, on a pris l'école dans sa forme initiale, car les autres blocs ont les mêmes formes du bloc initial, alors ils peuvent présenter les mêmes résultats parce qu'ils ont la même forme d'une part, et peuvent influencer les résultats à cause de ses inverses orientations d'autre part. La forme initiale alors est une forme linéaire en deux niveaux (R+01) 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 lui que l'on va comparer les résultats.

II.5.1.2. Plan de l'ensemble à atrium collectif (1^{er} modèle) :

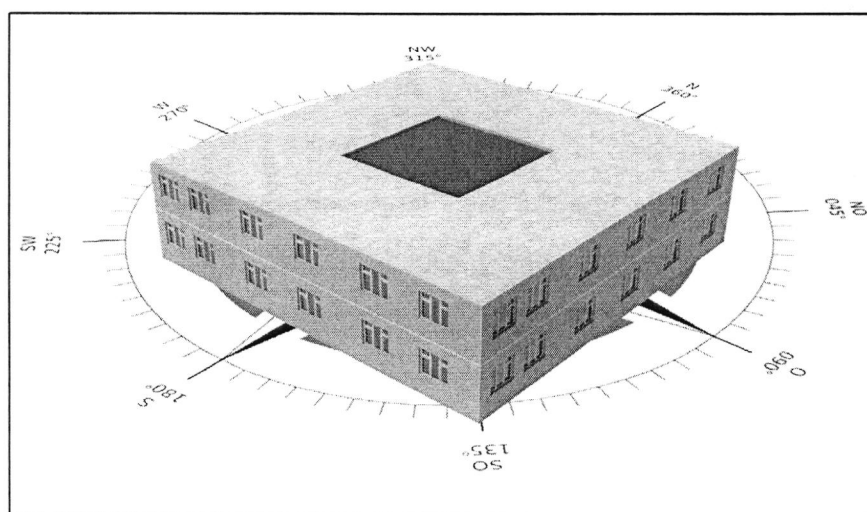


Figure II. 15; La forme du 1er modèle proposé. Source: Auteur.

Est un volume compact avec un espace grand unique (atrium) dont le toit se construit en verre. Les dimensions de l'atrium sont proportionnelles par rapport les dimensions de la salle de classe.

II.5.1.3. Plan de l'ensemble à galerie pédagogique collective (2me modèle) :

Deux volumes séparés par un espace central (atrium) fermée en verre.

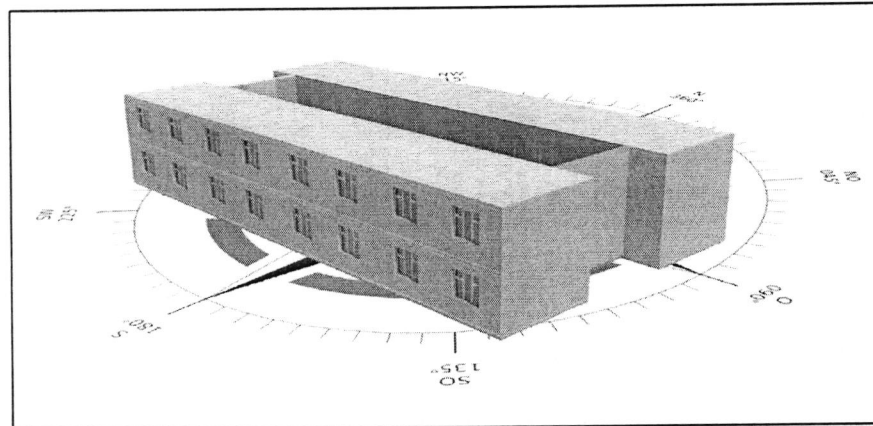


Figure II. 16: La forme du 2me modèle proposé. Source: Auteur.

II.5.1.4. Plan du groupe de bâtiments, Alignement d'unités (3me modèle) :

Ce modèle est très connu dans le monde, c'est type spécialisé par l'alignement des salles de classe avec une coursive donne sur elles. D'habitude dans chaque projet on trouve plusieurs unités de ce type composent entre elles un groupe de bâtiments. On propose ce modèle aussi car il peut montrer des résultats positifs en termes de consommation avec la protection des ouvertures sud et de la coursive que l'on propose par un mur-rideau, afin d'essayer de sauver

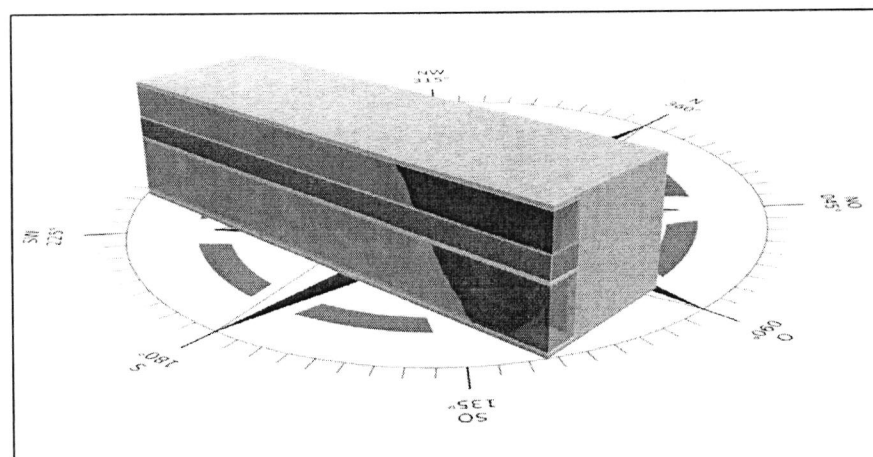


Figure II. 17: La forme du 3me modèle proposé. Source: Auteur.

“énergétiquement” les projets “adaptés” par la modification de la compacité de ses formes ; d’une façon facile à réaliser.

a. Identification des zones sous ArchiCAD et finalisation de la saisie sous EcoDesigner STAR :

Les zones en ArchiCAD ont toutes les propriétés de la pièce concernée, nom, position, usage, dimensions avec température, éclairage, niveau sonore et taux de ventilation requis... Pour faciliter le travail ; on a réuni les toutes les salles de classe d’un étage dans un seul bloc thermique ; car elles ont les mêmes caractéristiques.

Deuxième Section : Présentation et Analyse des Résultats des Simulations.

Deuxième Section : Présentation et Analyse des Résultats des Simulations

II.6. Variable dépendante :

Il reste la forme, la seule variable dépendante. Elle dépend par ses consommations énergétiques annuelles. Dans cette section-là, on atteindra les objectifs de l'étude. On verra les consommations annuelles globales et par cibles, ainsi que la compacité de la forme et son impact sur la consommation énergétique, et enfin on verra une comparaison des résultats de simulation des variables étudiées avec les consommations réelles et l'économie d'énergie que l'on peut réaliser.

II.6.1. Consommation énergétique :

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

II.6.2. L'interprétation des résultats obtenus :

L'objectif de l'expérimentation est d'analyser et d'évaluer l'interaction entre les modèles choisis et le climat défini (semi-aride). EcoDesigner STAR offre une synthèse de simulations réalisée sous forme de PDF ou Excel consiste à reporter pour chaque variante, les besoins en chauffage, en climatisation, en éclairage, etc., les températures minimales et maximales sous forme de bilan, tableau et profil.

II.6.2.1. Impact de la forme sur la consommation énergétique :

Sur la section **valeurs clef** de la synthèse de simulation (voir annexe C) ; 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 ; qu'on considère sa consommation en énergie comme la consommation référentielle.

a. La consommation énergétique globale annuelle :

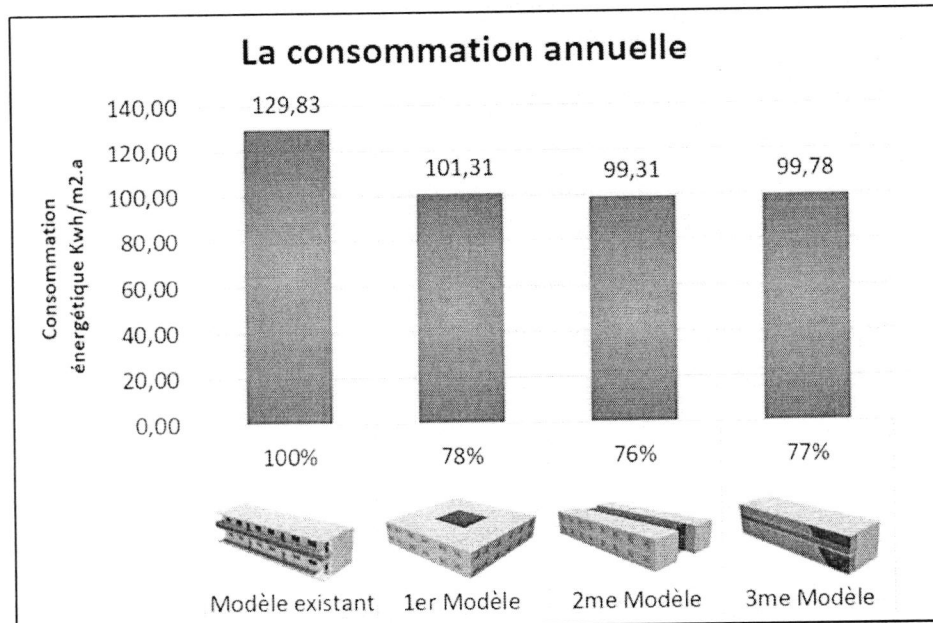


Figure II. 18: La consommation globale annuelle de tous les modèles étudiés.

Source : Auteur.

La haute consommation énergétique annuelle des différents modèles se réfère au "modèle référence" le modèle existant par 129,83 kWh/m².a, suite par les autres-modèles, qui montrent les résultats les plus positifs. Dont, le 1er modèle (forme à atrium collectif) représente une baisse importante en consommation de 22%, puis le 3eme modèle (forme existante améliorée) qui obtiendrait aussi une bonne performance globale, avec une consommation énergétique modérée de moins de 23% de la consommation référentielle, et enfin le 2eme modèle (forme à galerie pédagogique collective) est le plus performant énergétiquement qui consomme moins de 24% (30,52 kWh/m².a) par rapport la forme existante. Les résultats annuels spécifiques seront discutés dans les suivants.

b. La consommation annuelle d'énergie par cibles :

La comparaison des barres représentatives de la quantité d'énergie consommée en différentes cibles (chauffage, climatisation, équipements et éclairage, et l'eau chaude sanitaire) de quatre formes traitées ; établis ce qui suit :

1. La consommation en chauffage :

Le graphique d'énergie consommée par le chauffage vient comme suit :

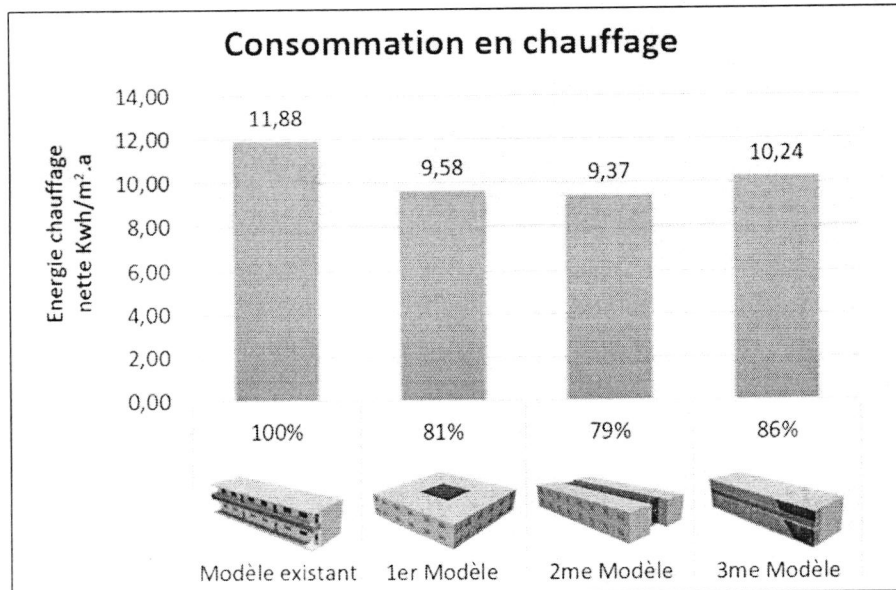


Figure II. 19: La consommation en chauffage. Source : Auteur.

On peut observer en générale que la forme ne présente pas beaucoup de différence de consommation d'énergie en chauffage ; car notre zone climatique d'hiver n'est pas très froide au jour. Alors le modèle existant reste le plus consommateur avec 11,88 kWh/m².a, tandis que le 1er et le 2eme modèle marquent une baisse de 19 et 21%. Le 3eme modèle n'est pas plus loin en matière de consommation du modèle existant ; dont il marque une baisse d'environ 14% de la consommation de référence. En générale le 2eme modèle (forme à galerie pédagogique collective) est le plus performant énergétiquement, dont il réalise une baisse de 2,51kWh/m².a.

2. La consommation en climatisation :

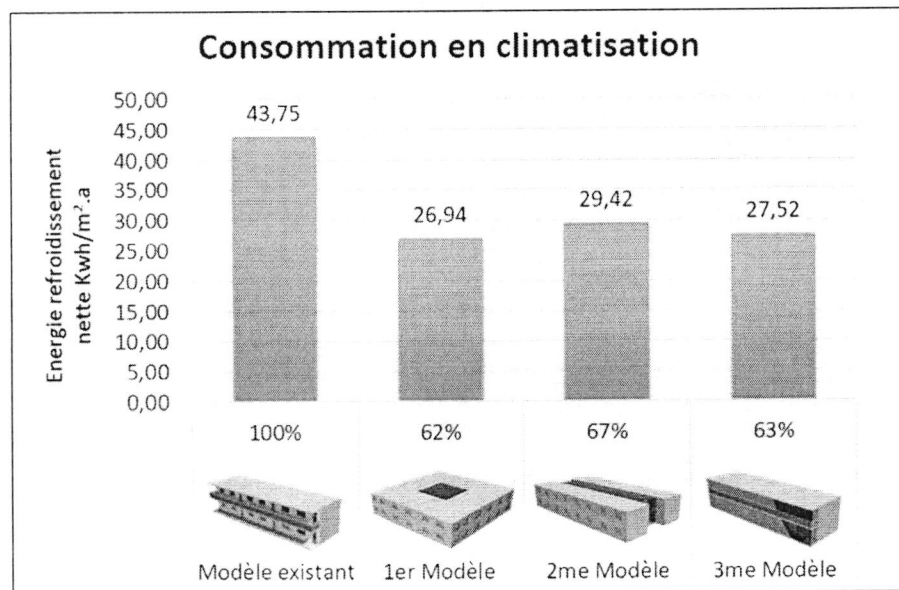


Figure II. 20: La consommation en climatisation. Source : Auteur.

En revanche la consommation en chauffage, les formes présentent une économie importante en consommation d'énergie en climatisation ; car notre zone climatique est remarquable par des étés très chauds et secs. De 38% (16,81 kWh/m².a) le premier modèle (à atrium collectif) économisé l'énergie par rapport le modèle existant énergivore qui consomme 43,75 kWh/m².a. Le 3me modèle est presque obtient le même résultat avec le premier par 27,52kWh/m².a, et non loin de cela ; le deuxième modèle (forme à galerie pédagogique collective) montre un bon résultat qui économisé 33% de l'énergie référentielle consommait.

3. La consommation en eau chaude sanitaire :

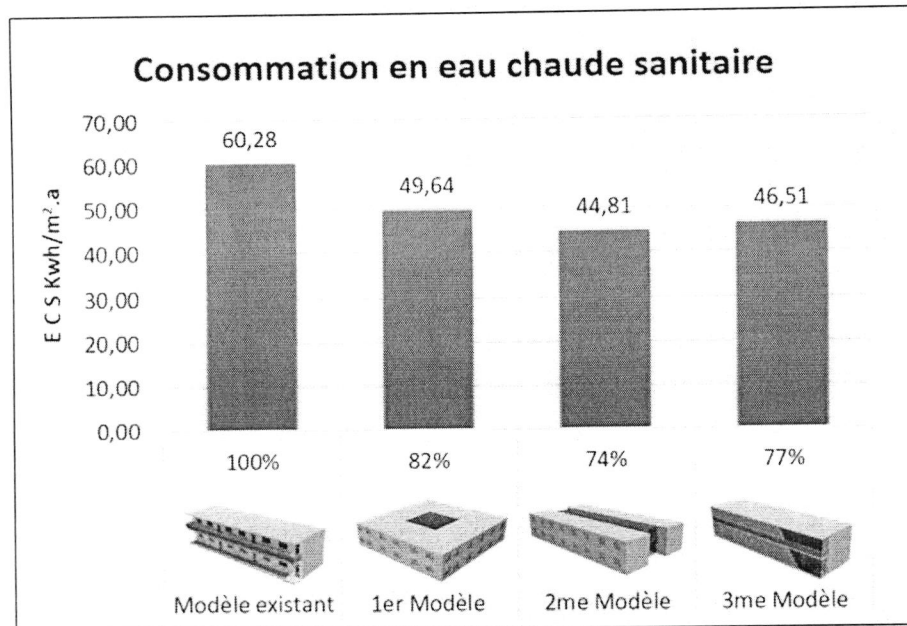


Figure II. 21: La consommation en eau chaude sanitaire. Source : Auteur.

Le système mécanique de chauffage non spécifié contenir l'utilisation de l'eau chaude sanitaire, dont son utilisation n'est pas encore précisée pour le chauffage ou pour autre utilisation (sanitaires, cuisine...). Cette eau est utilisée dans notre cas seulement en cuisine, mais on est obligé de l'estimer, car sa consommation existe réellement, et il est nécessaire en réalité mais les responsables des différentes écoles ne le met pas en disposition.

Alors l'estimation de la consommation en eau chaude sanitaire fait presque la moitié de la consommation énergétique globale, Dont la forme référence consomme 60,28 kWh/m².a. Les modèles compacts proposés présentent une économie importante dans la mesure où ils consomment 20% moins par rapport la référence. Le meilleur modèle en performance de ce fait ; est le 2me modèle (forme à galerie pédagogique collective) avec une consommation atteint le 44,81 kWh/m².a ; représente 74% par rapport le modèle existant.

4. La consommation en éclairage et en équipements :

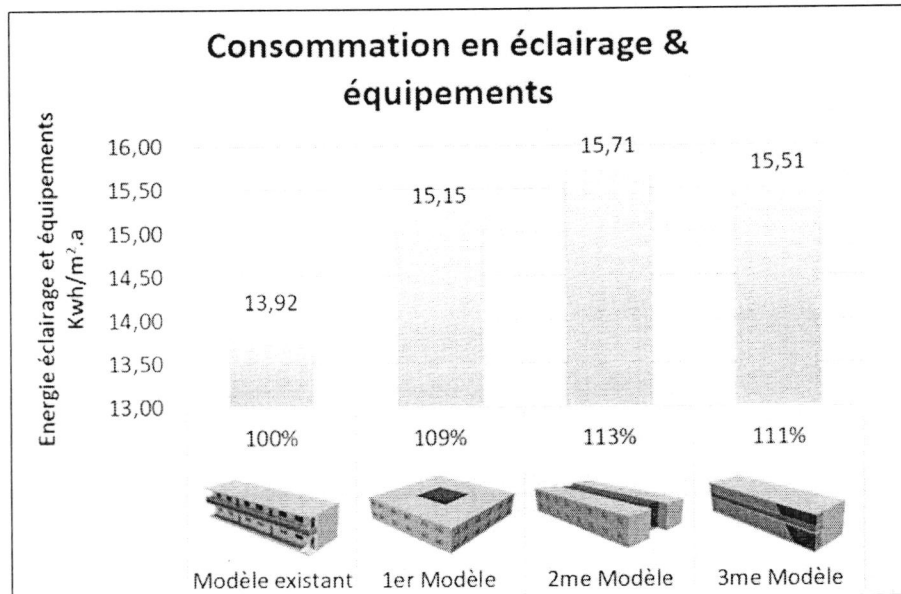


Figure II. 22: La consommation en éclairage et en équipement.

Source: Auteur.

Malgré le besoin en énergie pour l'éclairage et les équipements restent comparativement assez faibles par rapport aux autres cibles, le modèle existant montre une baisse en consommation (13,92 kWh/m².a) ; le rendre le plus performant par rapport les modèles existants. Le choix de la forme compacte de ce fait, influe négativement sur la performance lumineuse ; à cause du manque en surfaces vitrées par rapport le modèle référence. Cela provoque alors une hausse moyenne de 11% pour les trois modèles proposés, et le premier modèle est le plus performant parmi les propositions ; en matière de consommation d'énergie pour l'éclairage et l'équipement.

II.6.2.2. La compacité de la forme et la consommation énergétique :

a. Calcul du coefficient de forme (Cf) :

Le rapport entre la surface extérieure et le volume aéré d'un bâtiment (surface/volume) est considéré comme le coefficient de forme (Cf) et s'exprime en mètre carré par mètre cube (m²/m³). Le calcul de ce coefficient permet de dimensionner la compacité de la forme et faire diminuer ou augmenter l'exposition de surface de la forme à l'extérieure, et permet alors de comparer plusieurs formes afin de choisir la meilleure forme selon les besoins énergétiques.

Le tableau suivant présente le coefficient de forme, la surface d'enveloppe et le volume exploité pour chaque forme étudié.

Typologies	forme existante	1er modèle	2me modèle	3me Modèle
Surface enveloppe extérieur	828,10	1268,73	2013,50	848,87
Volume chauffé	1199,02	3893,94	4316,55	1557,25
Coefficient de forme Cf	0,69	0,33	0,47	0,55

Tableau II. 7: Le coefficient de forme de différents modèles. Source : Auteur.

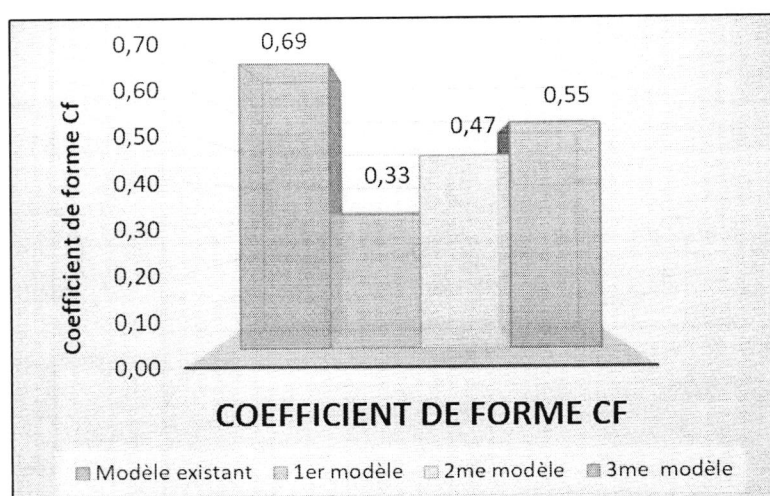


Figure II. 23: le coefficient de forme de différents modèles. Source : Auteur.

La figure ci-dessous résume le coefficient de forme (Cf) de quatre formes étudiées, on constate que la forme existante est la forme la plus détendue avec un coefficient élevé de Cf=0.69. La forme la plus compacte alors c'est le premier modèle (type à atrium collectif) qui montre un Cf de 0.33 ; du à ses surfaces qui sont les moins exposées aux facteurs climatiques. La dernière place pour le 3me modèle proposée (forme existante améliorée) avec 0.55. Le troisième modèle (Galerie pédagogique collective) avec 0.47 qui sont très proche en termes de valeurs Cf ; de ce fait sont en deuxième place en classement entre les quatre formes et ce sont d'une moyen compacité. Les effets de la compacité sur la consommation par cible on va les voir dans ce qui suit.

b. L'impact de la compacité sur la consommation :

1. Rapport consommation globale annuelle et compacité :

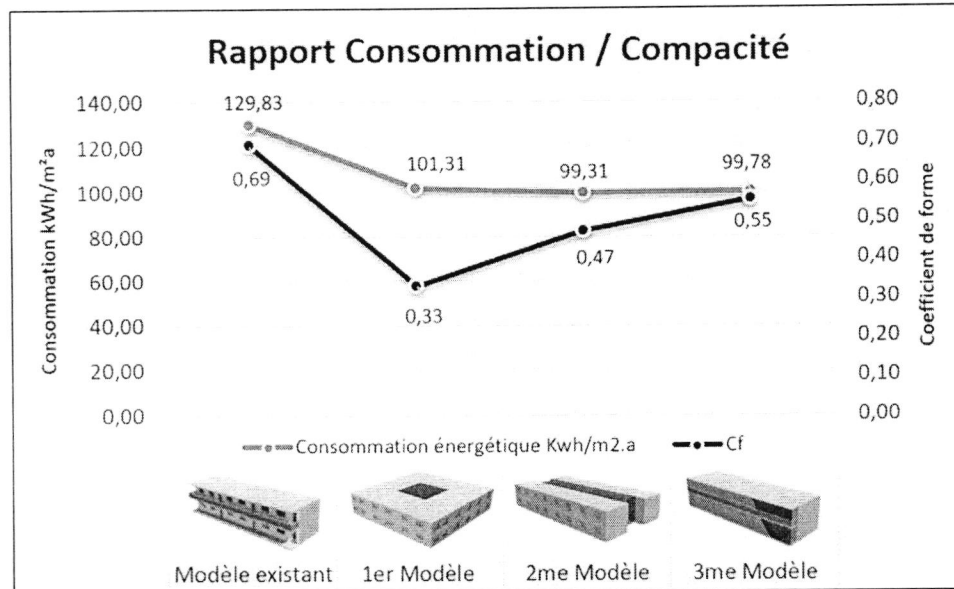


Figure II. 24: Rapport consommation globale annuelle / compacité.
Source: Auteur.

La lecture de la figure ci-dessus montre l'efficacité de choix des formes compactes. Les modèles à atrium central sont moins consommateurs (d'environ 30 kWh/m².a) par rapport le modèle existant qui consomme 129.83KWh/m².a.

On constat facilement qu'il y'à une corrélation entre la consommation d'énergie et la compacité de la forme. On constate aussi la stabilité de consommation des trois formes proposées malgré le grand abaissement en Cf qui se montre le premier modèle (type à atrium collectif) ; avec un Cf de 0.33. De ce fait la consommation reste presque stable (différence d'environ 2,00 kWh/m².a) quelle que soit le Cf lorsqu'il entre 0.55 et 0.33.

Le deuxième modèle donc fait la différence en consommation par 99.31 kWh/m².a. C'est la meilleure forme en consommation de moins de 23.14 % par rapport le modèle de référence ; et malgré son Cf moyen (0.47).

2. Rapport consommation en chauffage et compacité :

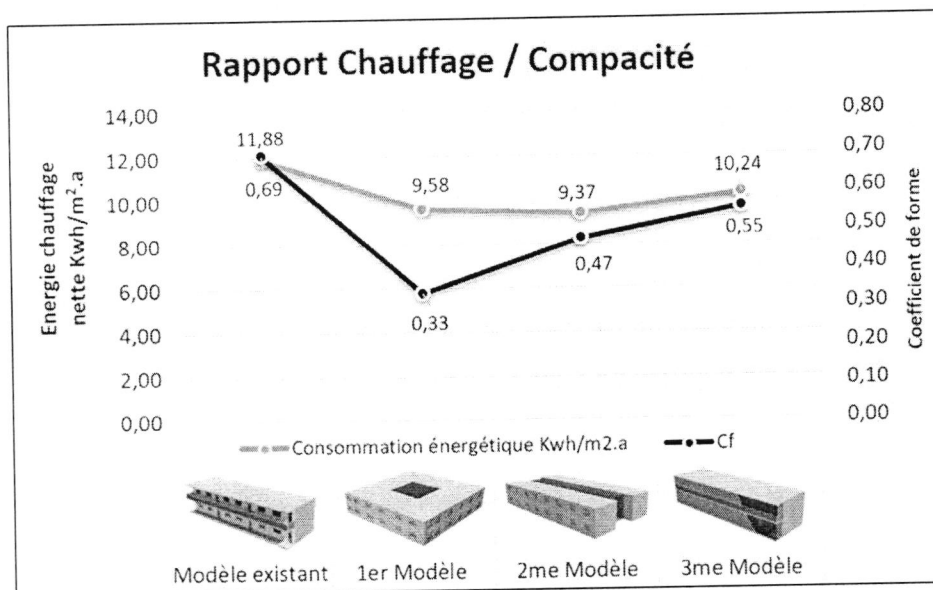


Figure II. 25: Rapport consommation en chauffage / compacité.

Source: Auteur.

La forme existante reste la plus énergivore ; dont sa consommation en chauffage atteint le 11.88 KWh/m².a. Le graphe continue en descente jusqu'à le 9,37 KWh/m².a. Cela montre l'influence intéressante du coefficient de la forme dans la consommation en chauffage. Mais malgré la compacité remarquable du premier modèle (type atrium collectif) avec un Cf de 0.33 ; cette dernière ne fait pas une grande différence. Dont ; le deuxième modèle (à galerie pédagogique collective) obtient le bon résultat de consommation en chauffage avec 9,37KWh/m².a de moins de 22% par rapport la forme existante.

On conclure alors que le modèle existant et le troisième modèle consomment plus qu'une autre forme ; car elles sont plus étalées sur l'axe Est-Ouest alors seront les plus exposées au vent froids d'hiver.

3. Rapport consommation en climatisation et compacité :

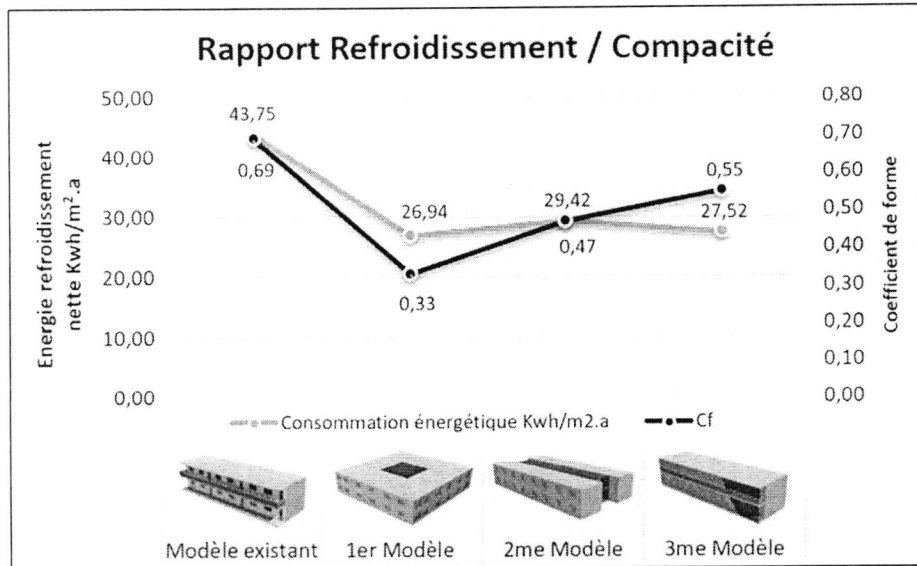


Figure II. 26: Rapport consommation en climatisation / compacité.
Source: Auteur

L'influence de la compacité sur la climatisation donne une différence très importante (d'environ 16,00 KWh/m².a) entre la forme existante et les trois modèles proposés dans le climat semi-aride. Dont, le choix du 1^{er} modèle (à atrium collectif) a réduit la consommation par (26.94 KWh/m².a) ; 38.42 % de la consommation référentielle, mais reste proche –en termes de consommation- au 3^{me} modèle ; de différence d'environ (01,00KWh/m².a) malgré sa faible compacité (Cf= 0.55). Le même point qu'on a remarqué pour le chauffage ; c'est que quel que soit la compacité de la forme entre 0.33 et 0.55 la demande en refroidissement reste en faible variation.

4. Rapport consommation en eau chaude sanitaire et compacité :

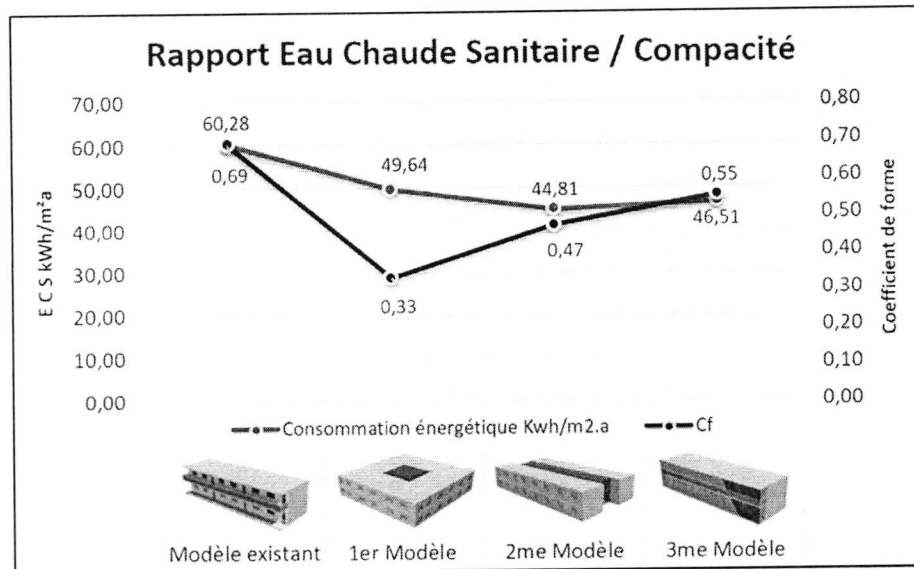


Figure II. 27: Rapport consommation en eau chaude sanitaire / compacité.

Source : Auteur.

Le rapport consommation en eau chaude sanitaire et compacité montre en nouveau l'efficacité de choix de la forme compact ; mais, l'effet de la compacité reste limité à certain intervalle. Le 2me modèle alors montre la plus basse consommation avec 74.33% (44,81 KWh/m².a), et le modèle existant reste le plus énergivore avec 60,28 KWh/m².a.

5. Rapport consommation en éclairage & équipements et compacité :

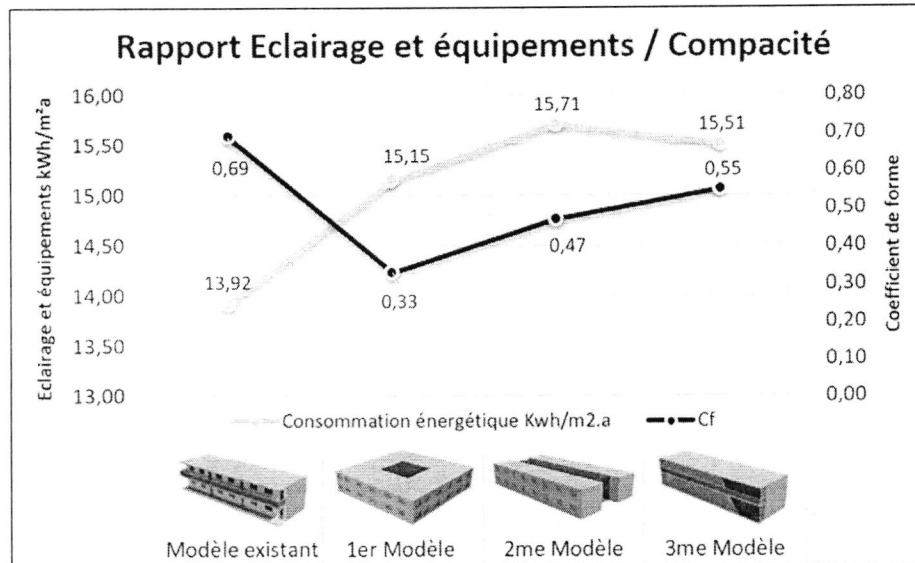


Figure II. 28: Rapport consommation en éclairage et équipements / compacité.
Source : Auteur.

La courbe de la consommation en éclairage et équipement est inversement proportionnelle à celle de la compacité, lorsque la valeur de la compacité est grande la consommation diminue et le vice versa. Il est évident que la forme compacte consomme plus et c'est le cas de notre trois modèles proposés, parce que la sa surface du bâtiment exposé à l'extérieure est moins de celle du modèle existant. Pour ce dernier, l'ouverture bilatérale assure un bon éclairage ; qui diminue la consommation en éclairage par 08,83% par rapport le 1^{er} modèle qui consomme 15,15KWh/m².a, c'est le plus performant parmi les modèles proposés.

II.6.2.3 Comparaison d'impact des variables étudiées :

L'objectif de l'expérimentation est d'explorer l'interaction forme climat, et de mesurer les impacts de choix de chaque forme sur les performances énergétique afin de les comparer après, et extraire la meilleure forme d'entre eux.

Les résultats présentés dans ce deuxième sous-chapitre nous a permet de retenir ce qui suit :

Premièrement, la forme a une influence considérable sur la consommation énergétique.

Deuxièmement, dans le climat semi-aride ; la forme affecterait la consommation énergétique et surtout la consommation en climatisation et en ECS. Tandis que le changement de la forme n'aurait pas une grande influence sur la consommation en chauffage.

Troisièmement, la compacité de la forme à un effet limité sur la consommation en différents formes d'énergie, c'est à dire ; à certain coefficient elle n'aurait aucune influence sur la consommation.

Ainsi, on a pu voir que, la typologie la plus performante et la moins consommatrice en énergie est la forme à galerie pédagogique collective (le 2^{me} modèle) ; car elle présente un résultat sublime en consommation d'environ 99,31 kWh/m².a, en revanche, la typologie la plus énergivore est la typologie existante (modèle existant) qui consomme environ 129,83 kWh/m².a. L'écart de consommation entre ces deux typologies égal à 30,52 kWh/m².a ce qui correspond à une réduction de 24%.

On a choisi le 1^{er} modèle on seulement car il consomme moins globalement mais, car il montre la moins consommation en chauffage ; dont les besoins réels d'une école algérienne sont référés au chauffage, comme on va les découvrir dans la section suivante.

Il s'agit de bien marquer que le modèle amélioré présente des résultats présente des très bons résultats avec 99,78 kWh/m².a, ce que permet pour nous de le proposer comme une solution énergétique efficace pour les bâtiments scolaires existants ayant le même type et qui sont situés dans les zones semi-arides.

II.6.3. Comparaison des résultats de simulation avec les consommations réelles :

Afin de connaître les besoins réels et les différentes utilisations de l'énergie de notre cas d'étude ; on a élaboré une enquête stricte basée sur les factures réelles de consommation trimestrielle de l'école (voir annexe D) ; et sur les déclarations de son équipe administrative et gestionnaire.

Alors, on a résumé les factures dans le tableau ci-dessous, dont ; l'école a deux compteurs d'électricité et un seul compteur de gaz.

II.6.3.1. Consommation réelle de l'école en 2015 :

Ecole Elghazali – Ouled Derradj – Msila					
Date de facture	Format d'énergie consommé			Energie finale consommé/kWh	Montant toutes taxes / DA
	Electricité / kWh	Electricité / kWh	G.N / kWh		
Mars 2015	0,00	1 280,00	105 951,63	107 231,63	31 767,48
Juin 2015	0,00	1 117,00	4 110,04	5 227,04	1 409,00
Septembre 2015	1 518,00	1 298,00	324,48	3 140,48	51 925,26
Décembre 2015	0,00	855,00	24 389,27	25 244,27	7 454,47
Année entière	1 518,00	4 550,00	134 775,42	140 843,42	114 023,8
Consommation annuelle - Tout formats d'énergie / An					

Tableau II. 8: Consommation trimestrielle d'énergie d'école Elghazali. Source: Auteur.

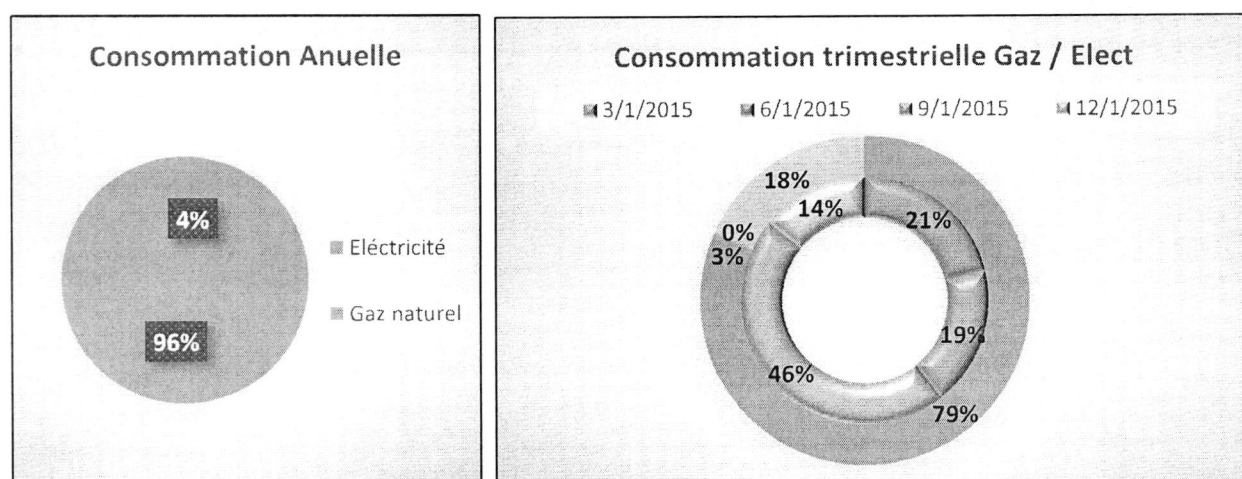


Figure II. 30: Consommation annuelle d'école Elghazali, tous formats d'énergie. Source: Auteur.

Figure II. 29: Consommation trimestrielle d'école Elghazali, tous formats d'énergie. Source: Auteur.

Il est bien appa rit que l'énergie utilisée presque dans tous les écoles primaires algériennes est en format de gaz à 96% par rapport l'électricité, dont son utilisation est presque de 99% pour le chauffage, les graphiques à secteurs ci-dessus montre l'utilisation de l'énergie par format et par trimestre. Alors à saisons chaudes et durant les vacances entre mars et septembre la consommation en gaz est très basse (de 3 à 0%), tandis qu'entre septembre et mars durant le fonctionnement de l' cole et pendant les saisons froides la consommation atteindre 79% en premier trimestre et 18% en deuxième trimestre.

L'électricité pour sa part est utilisée d'une façon régulière presque ( clairage et équipements) pendant la scolarisation, tandis qu'en été sa consommation arrive à 46% ; dont son utilisation

plus à l'éclairage référé juste pour la réfrigération et la climatisation de quelques locaux de gestion et de garde.

a. Réalité de consommation :

La cantine de cette école exemple ; utilise l'électricité toute l'année seulement pour la réfrigération, et utilise le gaz pour la cuisine une heure par semaine seulement.

La cantine ne contient aucun équipement de chauffage ou de climatisation ; dont les élèves utilisent cet espace pendant 5 jours de semaine et pour une heure par jour.

Le chauffage reste allumer pendant la nuit mais en faible émission de chaleur.

De ce fait on n'a trouvé aucun choix pour plus préciser nos calculs ci-dessous, et on a compté l'énergie final consommé sur toute surface utilise une énergie.

b. Calcul de la consommation réelle en énergie par an :

• **Besoin d'espaces en énergie :**

Surface de l'école : 4 800,00 m².

Surface construite : 1 014,00 m².

Surface cantine : 280 m².

Surface salle de classe : 63.36 m².

Nombre et type de salle utilisé : 12 salles de classe + 02 locaux administratifs + Cantine.

Surface utile réellement utilise de l'énergie : $(63.36 \times 12) + (15,00 \times 02) + 280 = 1\ 070,32$ m².

Besoin d'énergie tous formats en kWh/m².an : $140\ 843,42 / 1\ 070,32 = 131,59$ kWh/m².an.

Besoin d'électricité en kWh/m².an : $1\ 518,00 + 4\ 550,00 = 6\ 068,00 / 1\ 070,32 = 5,66$ kWh/m².an.

Besoin de gaz en kWh/m².an : $134\ 775,42 / 1\ 070,32 = 125,92$ kWh/m².an.

c. Des défis contraignent la conformité des calculs de simulation :

Dans ce cas et presque dans toutes les établissements algériennes ; il reste difficile de mesurer les consommations réelles exactes par la simulation. C'est pourquoi, lors de notre travail de l'enquête et de l'étude de notre cas ; on a rencontré les contraintes suivantes :

- La différence en termes de données climatique entre les réelles (en environnement urbain du cas d'étude) et les télécharger depuis le site relevé depuis la seule station de Msila situé en milieu rurale.

- L'irrégularité d'utilisation des espaces dans l'école en personne et en temps influe sur l'utilisation de l'énergie.
- L'irrégularité d'utilisation de l'énergie dans les espaces (l'existence ou non d'équipement, éclairage continu ou non, etc.).
- Utilisation de l'énergie hors les heures et les jours de fonctionnement de l'école.
- L'écartement des normes scolaires algériennes selon les standards internationales.
- Les systèmes mécaniques sont déjà non spécifiés.
- L'irrégularité du relever des index des différents compteurs d'énergie.
- Les responsables ont évité par exemple toujours de faire marcher les climatiseurs et le chauffage parfois (au début de la saison froide surtout).

Malgré tous ces défis, les résultats de la simulation qu'on a trouvé et les résultats réels sont très proches en chiffre ; dont la consommation réelle est de **131,59 kWh/m².an**, et la consommation estimée est de **129,83 kWh/m².a**.

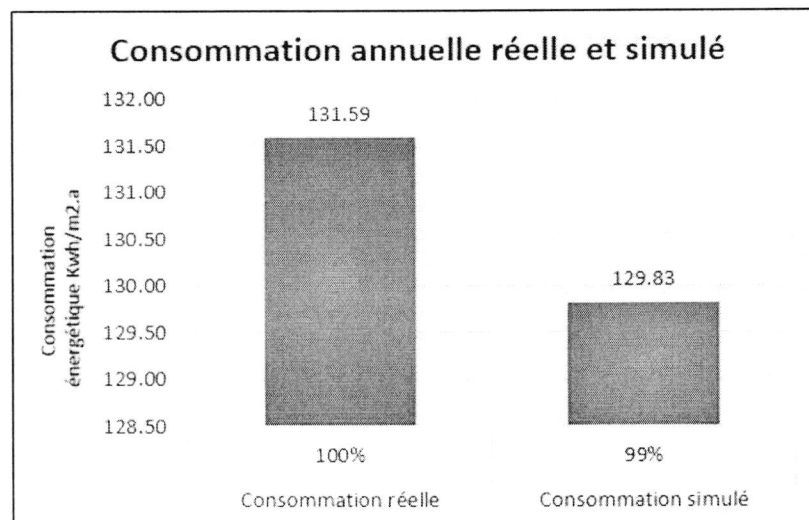


Figure II. 31: Comparaison entre la consommation annuelle Réelle et simulé.

Source: Auteur.

Mais lorsque on fait une comparaison entre la simulation et la réalité ; on trouve ces remarques:

- En réalité on n'a pas de production ou de consommation en eau chaude sanitaire.
- Les climatiseurs ne sont pas exploités du tout.
- Les équipements consommes de l'électricité ne sont pas en besoin.

Alors tout cela signifié que :

La chose inévitable est que l'école besoin du chauffage d'une façon phénoménal. Et lors de l'essai de réduction du montant de la facture, les responsables tombent en forte omission du droit de l'enfant lors de son apprentissage et son enseignement ; en termes de confort et de moyen.

Dans l'ensemble, on peut conclure que dans notre cas, aucune des défis précédents peut influe négativement le résultat final ; car on a donné les même caractéristiques pour tous les forme. De ce fait on peut entamer les gains en énergie, si on applique l'amélioration pour les formes existante, dont le plus important ici c'est le pourcentage économie :

II.6.3.2. Energie et monnaie économisés :

On prend la forme à galerie pédagogique collective (2me modèle) ; la moins consommatrice en énergie par 24% par rapport la forme existante :

Energie finale économisé : $140\,843,42 \times 0,23 = 33\,802,42$ kWh par an.

Montant toutes taxes : $114\,023,80 \times 0,23 = 27\,365,71$ DA par an.

Au futur, si on construit des écoles de type D = 12 salles de classe avec la forme à galerie pédagogique collective (2me modèle), on va gagner environ **33 802,42** kWh par an ; par la forme seule.

Maintenant si on applique l'amélioration qu'on a proposée pour la forme existante qui consomme moins de 23% de l'énergie totale consommé réellement : on peut économiser les suivants :

Energie finale économisé : $140\,843,42 \times 0,23 = 32\,393,98$ kWh par an.

Montant toutes taxes : $114\,023,80 \times 0,23 = 26\,225,47$ DA par an.

Alors chaque amélioration appliquée à la forme d'une école primaire typique (D = 12 salles de classe) située à la zone semi-aride peut économiser environ **32 393,98** kWh par an.

a. La position par rapport le programme de l'efficacité énergétique algérien 2015-2030 :

Le service de programmation et de suivi de la direction de l'éducation de Msila a compté 74 écoles primaires, dont 41 écoles entre elles sont typiques⁷¹.

⁷¹ Déclaration du service de programmation et de suivi de la direction de l'éducation de Msila lors de notre visite le 03 Novembre 2017.

Et comme le cas d'étude est montré ; on peut économiser environ **32 393,98 kWh** en énergie par an ; dans la zone semi-aride, on peut trouver les résultats suivants :

On a **41** écoles primaires typiques en 2017 au niveau de la wilaya de Msila :

Alors : $41 \text{ écoles} \times 32\,393,98 \text{ kWh/an} = \mathbf{1\,328\,153,18 \text{ kWh/an}}$.

En réalité les écoles non typiques aussi sont construites avec le même principe, c'est une coursive donnant accès aux salles de classe. Mais, on a calculé l'énergie économisée des écoles typiques seulement.

D'ici 2030 ; pour 12 ans, on compte : $\mathbf{1\,328\,153,18} \times 12 = \mathbf{15\,937\,838,16 \text{ kWh}}$. Ce qui fait : **15 93,83 Mwh**, ou **1 370.40 Tep**.

Enfin, on peut théoriquement économiser d'environ 1 370.40 Tep par l'amélioration de la forme des établissements scolaires typique de Msila seulement d'ici 2030, plus à les 30 millions de TEP qui seront économisées de tout le secteur du bâtiment qui englobe :

- L'isolation thermique : de 7 millions de TEP.
- Le chauffe-eau solaire : de 2 millions de TEP.
- La lampe basse consommation : de 20 millions de TEP.

II.7. Conclusion :

Dans ce chapitre, on a traité les résultats de la simulation par le logiciel EcoDesigner STAR. On a porté sur l'étude de l'impact des quelques formes d'établissement scolaire sur la consommation d'énergie reliée au chauffage, la climatisation, l'eau chaude sanitaire et à l'éclairage et l'équipement. Dans ce chapitre alors, on a également testé l'impact d'un indicateur relatif à la forme ; quelle est la compacité de la forme ; sur la consommation énergétique.

Les résultats présentés dans la deuxième section de ce chapitre, on a permis de retenir ce qui suit:

- L'effet de choix de la forme apparaît plus concrètement dans notre étude et montre des résultats très positifs que l'on doit les prendre en compte lors de conceptions pour produire des bâtiments scolaires plus confortables thermiquement, moins consommateurs énergétiquement et également plus appropriées et répondus en matière d'apprentissage.

- Les formes du plan de l'ensemble sont les plus performantes et les moins consommatrices en énergie ; elles sont réalisées une réduction en consommation de 22 à 24% par rapport les formes proposées par le ministère de l'éducation qui consomme 129,89 kWh/m².a, et la meilleure entre elles ; est la forme à galerie pédagogique collective (2^{me} modèle) qui a consommé environ de 99,31 kWh/m².a, dont l'écart de consommation entre ces deux formes égales à 30,58 kWh/m².a. la forme améliorée pour sa part a montré un bon résultat en consommation ; par 99,78 kWh/m².a, avec une simple technique que l'on peut l'utiliser durant le processus de l'efficacité énergétique du bâtiment.

Cette dernière conclusion concordant parfaitement aux déclarations des autres chercheurs dont, « Ourghi et al. (2007), analyse l'influence de la forme d'un bâtiment sur son efficacité énergétique, dans un climat semi-aride. Et ils montrent qu'il existe une forte corrélation entre la forme du bâtiment et sa performance énergétique »⁷².

De ce fait, on peut dire que les résultats de notre étude sont estimés comme acceptables et on peut les adopter, car ils sont compatibles avec les résultats des autres recherches.

⁷² Esteban Emilio Montenegro Iturra, (2011), *Ibid*.

Conclusion générale

Conclusion générale :**Conclusion :**

On est passant à l'école généralement l'un tiers de notre journée, c'est un espace où nous avons tous vécu des expériences inoubliables ; qui ont formé notre caractère... c'est notre deuxième maison par excellence.

Parmi ces expériences ; on trouve un grand défi qui reste présent à chaque fois que notre pays éprouve une crise économique, où trouvons nous nous doivent y réfléchir et "rationaliser" nos dépenses et notre budget, et, par conséquent ; nos consommations énergétiques à l'école. Alors un tel bâtiment et tel phénomène ont occupé notre attention.

Dans cette recherche, on est intéressé à la consommation énergétique dans les établissements scolaires, cet espace qui connaît des développements géniaux dans les pays occidentaux. En effet, beaucoup de chercheurs ont entamé des recherches sur l'importance de l'espace scolaire et son efficacité énergétique. Partant de ce fait, on a présenté l'évolution de l'architecture scolaire en Europe ; qui est considérés parmi les précurseurs sur la question, et qui a essayé de favoriser le bien-être de l'élève dans sa deuxième maison ; en le considérant comme le premier facteur du succès, ainsi ; ils ont réfléchi sérieusement de l'efficacité énergétique tout ne respectant le confort dans tous ses aspects...!

Après des remarques de l'état des écoles algériennes ; et une étude du guide scolaire élaboré par le ministère de l'Éducation nationale, ils ont ressort qu'il y a d'école pareille ; de mêmes caractéristiques et de même forment majoritairement. Dont, le guide élaboré, en 1982, reflète les idées des années 1800 de la part, et il est très limité et réduise la créativité par ses exigences d'autre part. Ainsi que d'autres milliers de bâtiments sont construit selon un plan type proposé par le ministère. Cet état de fait dernier est dû à l'opération de l'adaptation, qui est l'exécution d'une étude d'un projet est déjà réalisé dans une autre zone climatique différente; sans penser à aucun facteur climatique spécifique pour telle zone ou autres.

Le maître d'ouvrage algérien alors recourir à cette opération, à chaque fois notre pays est en ces deux cas : soit en état d'une politique d'austérité financière, soit en état de nécessiter à une

production importante et rapide en infrastructures scolaires. Et toujours avec une privation en chauffage et en climatisation pour une longue durée en hiver et en été.

Cette réalité vient répondre à notre problématique en ce qui concerne la forme la plus adéquate pour les établissements scolaires dans un contexte de climat chaud et sec.

La forme du bâtiment a un effet important sur la consommation énergétique :

On a procédé à un travail de recherche et d'enquête sur une école primaire située à Ouled Derradj (20 km à l'est de Msila), pour la mise en évidence de l'effet de la forme d'école sur sa consommation énergétique et qui confirme qu'elle consomme plus ou moins, selon la zone climatique choisie. Dans cette recherche qui est basée sur la simulation thermique dynamique à l'aide du logiciel connu ArchiCAD et son extension EcoDesigner STAR, on a pris toutes les caractéristiques du cas d'étude et les applique sur tous les modèles proposés, ainsi que l'on a fixé tous les paramètres afin de mesurer le seul effet souhaité, la forme.

Les résultats de l'étude démontrent que :

Le plan type du ministère n'est pas approprié pour le climat semi-aride. Dont, on peut réaliser une économie d'énergie par le choix de la forme du plan de l'ensemble caractérisé par sa moyenne compactité. Cette économie arrive jusqu'à 24% de la consommation globale annuelle par rapport au plan type dans notre zone. Cela conforte notre hypothèse selon laquelle la forme du bâtiment scolaire typique a une influence importante sur sa consommation énergétique, et que la forme compacte est la plus appropriée.

Les résultats démontrent aussi qu'on peut utiliser une technique comme le mur-rideau ; pour préserver plus d'énergie d'environ 23% de la consommation globale annuelle.

En dernier, les résultats estiment une économie d'environ 15 93,83 Mwh, ou 1 370.40 Tep d'ici 2030, si l'on applique une amélioration de forme pour 41 écoles primaires typiques dans notre région du climat semi-aride.

Recommandations :

On retient de cette dernière partie que ; pour réduire la consommation énergétique des constructions scolaires, il faut :

- Tenir compte aux différentes échelles climatiques et penser bien la forme pour chaque nouvelle étude.
- Essayer le maximum de tourner vers la notion de la compacité dans la zone semi-aride, c'est l'une des solutions pour la réduction de la consommation énergétique.
- Choisit une forme compacte ; du plan de l'ensemble pour les établissements scolaires dans la zone semi-aride.
- Modifier l'article n 11 du décret n° 94-07 du 18 mai 1994 relatif aux conditions de la production architecturale et à l'exercice de la profession d'architecte. Dont, l'exécution d'une étude d'un projet entamé pour deux zones climatiques différentes est totalement insupportable. Si nécessaire, l'adaptation ne doit exécuter que dans les régions ayant les mêmes spécificités climatiques locales (sans oublier l'importance de l'orientation).
- Une évaluation de l'espace scolaire est urgente. Dont, l'architecte, le pédagogue, le sociologue, le professeur et le psychologue, doivent faire partie de la commission d'évaluation de l'effet de l'espace scolaire en Algérie sur la réussite de l'élève.

Limites de la recherche :

À cause du temps et de la nature d'une recherche demandée en master, cette recherche peut présenter plusieurs limites :

- Dans cette tentative de recherche, on a étudié l'impact de quelques formes d'établissements scolaires sur la consommation énergétique, sans prendre en compte leurs impacts sur d'autres domaines tels que le confort thermique, le confort lumineux, le confort sonore ou sur la qualité de l'air intérieur.
- En raison des contraintes du temps et de volume de travail demandé, on a étudié l'effet d'un seul paramètre sur la consommation énergétique en bâtiment est celle de la forme. Dont, quelques autres paramètres qu'est possible de les étudier comme l'enveloppe, l'orientation, pourcentage d'ouverture, différentes proportions de la salle de classe, etc.

- La recension de formes effectuée a identifié plusieurs modèles, mais en raison des contraintes de temps et du nombre de variables à analyser, cette recherche s'est limitée à quatre formes de base et une seule proportion de salles de classe.
- L'étude se restreint à un seul contexte climatique, et à une ville spécifique. Donc, ses résultats pourraient ne pas s'appliquer dans un autre contexte.
- Dans la conception architecturale, il est possible d'essayer de déterminer la conception la plus adéquate en matière d'enseignement et d'apprentissage pour les différents établissements de l'éducation l'école préparatoire et l'école primaire, le collège, et le lycée.

Perspective de la recherche :

Ce modeste travail porte la possibilité aux plusieurs voies futures de recherches comme :

- Dans ce travail, on est contenté d'aborder un seul facteur énergétique dans les établissements scolaires qui est la consommation énergétique et elle a touché une seule zone climatique. Pour les prochains travaux, on compte parler de l'espace éducatif dans tous ses aspects ; social, physique, et psychologique et essayer de proposer un guide de conception des écoles en Algérie appropriée et homogène fonctionnellement et énergétiquement selon les trois zones climatiques, et selon les tendances d'apprentissage actuelles.
- On a proposé aussi une petite amélioration des formes existantes où le programme de l'efficacité énergétique algérien 2015-2030 l'ignorer, bien qu'elle ait un impact très positif en matière de consommation. Pour les prochains travaux, on compte parler d'une critique du programme et essayer de proposer d'autres corrections passives (avec des estimations précises) au secteur du bâtiment plus à l'isolation thermique, le C.E.S et les lampes économiques, afin de réduire les consommations au minimum.
- Cette étude présente le support de la recherche du développement d'une méthodologie de travail de "conception énergétique" pour les maitres d'œuvres en Algérie, en matière de la nouvelle conception ou de la rénovation énergétique.

Bibliographie

Dictionnaire :

Centre national des ressources textuelles et lexicales, (2017), Dictionnaire en ligne, Url : <http://www.cnrtl.fr/definition>.

Le Petit Larousse illustré, (2017), Dictionnaire en ligne, Url : <http://www.larousse.fr/dictionnaires>.

Reverso Dictionnaire, (2017), Dictionnaire en ligne, Url : <http://dictionnaire.reverso.net>.

Web bibliographie :

Alain Borie et al, (2006), « Forme et Déformation : des objets architecturaux et urbains », Éditions Parenthèses, Marseille.

Alain Liébard et d'André De Herde, (2005), «Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques», Observ'ER, Paris.

Alexandra Bounous-Duprey, (2016), « Architecture scolaire et ergonomie organisationnelle », Mémoire de master, Ecole supérieure du professorat et de l'éducation, Aix et Marseille Université,
Url: http://media.devenirensignant.gouv.fr/file/Memoires_MEEF_2016/37/1/AixMarseilled_AlexandraBounous-Duprey_607371.pdf, Page consultée le: 21 mars 2017.

Alix Martin et Eleanor Mir, (2014), « Réflexion sur les enjeux scolaires : un outil pour les conceptions architectures », Enoncé théorique EPFL – Mémoire de master, France.

Arhab Fatma, (2014), « évaluation du confort thermique dans les établissements scolaires, mémoire de magistère », EPAU, Alger.

Baruch Givoni, (1978), « L'homme, l'architecture et le climat », Éditions du Moniteur, Paris.

Commission Européenne. DG Éducation et Culture, (2015), « Politique scolaire, Approche globale de l'école pour lutter contre le décrochage scolaire », Bruxelles.

Daniel Forgues et Al, (2016), « Guide de conception d'un bâtiment performant, Fascicule 01, Notions de base et simulation énergétique », Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, Gouvernement du Québec.

Esteban Emilio Montenegro Iturra, (2011), « Impact de la configuration des bâtiments scolaires sur leur performance lumineuse, thermique et énergétique », Mémoire présenté pour l'obtention du grade de Maître ès sciences, Faculté D'aménagement, D'architecture Et Des Arts Visuels, Université LAVAL, Québec.

Henri Focillon, (1934), « Vie des formes », Édition électronique (2002) réalisée à partir du livre d'Henri Focillon, Vie des formes, 1943, 7e édition, (1981), 131 pages, Québec.

Marianne Capdeville et al, (2015), « Collaboration pédagogie & architecture dans les écoles : utopie ou réalité ? » (tome I), Service éducatif de la manufacture des paysages, (France).

Menouer Boughedaoui, (2015), « Algérie Rapport D'étude », Rapport, Cleaner Energy Saving Mediterranean Cities (CES-MED), Alger.

-
- Ministère de l'énergie, (2015), Le programme national des Energies Nouvelles, Renouvelables et Maîtrise de l'Énergie (EnR, ME) 2015-2030.
- Ould Henia Amina, (2003), « Choix climatique et construction. Zone aride et semi arides. La maison a cour de Bou Saada », Thèse de doctorat, Ecole Polytechnique de Lausanne (EPFL), Lausanne.
- Saddok Amel, (2016), « Étude du confort thermique des salles de cours des établissements scolaires à différentes typologies », UMMTO, Tizi Ouzou.
- Said Noha, (2010), « La notion de confort thermique : entre modernisme et contemporain », Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble, Cours, [en ligne], Url : www.grenoble.archi.fr/cours-en-ligne/said/confort-thermique.
- Sergio García Beltrán et Al, (2010), « Les Bâtiments : efficacité énergétique et énergies renouvelables », Manuel de l'élève, projet IUSES et le programme Énergie intelligente pour l'Europe.
- S.M.K. El Hassar et Astrid Denker, (2014), « Guide pour une construction Eco-énergétique en Algérie », Editeur GIZ.
- Thibaut Vermeulen, (2014), « Optimisation de formes urbaines soumises au rayonnement solaire », Construction durable, Université de Technologie de Compiègne, France.
- Witold Rybczynski, (1989), « Le Confort, Cinq siècles d'Habitation ».
- Revue scientifique :**
- APRUE, (2014), « Consommation Énergétique Finale de l'Algérie : Chiffres clés Année 2012 », Revue, Ministère de l'Énergie, Alger.
- Alessandro Rigolon, (2010), « Les plans de construction des écoles européennes du XXI^e siècle : Présentation », CELE Échanges, Centre pour des environnements pédagogiques efficaces, 2010/03, Éditions OCDE, Paris, Url : <http://dx.doi.org/10.1787/5kmh36dfpx0t-fr>.
- Annick Faniel, (2017), « Espace et pédagogie : l'architecture scolaire et son impact sur les apprentissages », Centre d'expertise et de ressources pour l'enfance ASBL, Article de la rubrique, n°02.
- Le journal officiel algérien, n° 45-2001, Arrêté interministériel du 15 mai 1988 modifié le 4 juillet 2001 portant modalités d'exercice et de rémunération de la maîtrise d'œuvre en bâtiment, Alger, Article 34.
- Le journal officiel algérien, n° 32-1994, Décret législatif n° 94-07 du 18 mai 1994 modifié par la loi n° 04-06 du 14 août 2004, Article 11, Alger.
- Le journal officiel algérien, n° 04-2008, Loi n° 08-04 du 23 janvier 2008 portant loi d'orientation sur l'éducation nationale, Alger, Article 27.
- Marchand Bruno, (2004), « L'architecture scolaire aujourd'hui », Article de journal, Bulletin CIIP, n° 15.

Maurice Mazalto et Luca Paltrinieri, (2013), « Les espaces scolaires », Revue, Revue internationale d'éducation de Sèvres, Dossier N° 64.

Ministère de l'Énergie, (2016), « Bilan énergétique national 2015 », Alger.

Ministère de l'énergie (2015), Le programme d'efficacité énergétique algérien (PNME) 2015-2030.

Wilaya de M'sila, (2015), « wilaya de M'sila par les chiffres année2014 », Revue de la wilaya.

Manuels et guides :

Ecole Elghazali, (2017), « Enquête Scolaire Exhaustive "Livret statistique" », Direction des structures et des équipements, Ministère de l'éducation nationale.

GRAPHISOFT, (2015), « Guide d'utilisateur EcoDesigner sur ArchiCAD version 18 ».

GRAPHISOFT, (2017), « Brochure de marketing EcoDesigner STAR ».

L'ICEB, Alain Bornarel (TRIBU), (2014), « Confort d'été passif », Les guides BIO-TECH, Île-de-France.

Manuel de remplissage du livret statistique destiné à l'éducation primaire, (2017), Ministère de l'éducation nationale.

Véronique Heulard et Al, (Sans date), « Bâtiments basse consommation », Guide électronique du Groupe de travail énergie de l'AITF et l'EDF, Disponible sur le site : <http://www.aitf.fr>, France.

Sites internet et références :

CDER, Portail des Energies Renouvelables en Algérie, (2017), "Cartes de l'irradiation globale et de l'ensoleillement en Algérie", Réseau CHEMS & Application, Carte solaire", Url : <http://portail.cder.dz/spip.php?rubrique66>, consulter le : 29 Août 2017.

Commission nationale algérienne pour Unesco, (2015), " L'éducation nationale algérienne en chiffres", Accueil, Education, Url : <http://www.unesco.dz/index.php/fr/education>, Page consulter le : 17 Octobre 2017.

Département de l'énergie des États-Unis, (2017), "Weather Data", Type de support : "csv", Url : <https://energyplus.net/weather>, Consulter le : 21 Août 2017.

FNAIM du grand Paris, (2017), "La diminution de la consommation d'énergie des logements en France reste à nuancer", Url : <https://www.lamaisondelimmobilier.org/efficacite-energetique-en-france/>, Page consulter le : 15 Octobre 2017.

Ministère de l'éducation nationale, (2015), "Données statistiques du secteur", Accueil, Activités, Url : <http://www.education.gov.dz/fr/activity/donnees-statistiques-du-secteur>, Page consulter le : 17 Octobre 2017.

Liste Des Illustrations

Liste des illustrations :
Liste des figures :

Figure I. 1: Répartition de la consommation du secteur tertiaire par types d'énergie.	16
Figure I. 2: Répartition de la consommation du secteur tertiaire par branche. Source: APRUE, 2014.	16
Figure I. 3: Consommation d'énergie, hors éclairage public, par poste. Source: M. Boughedaoui, 2015...17	17
Figure I. 4: Consommation annuelle d'école Ben Makhfi, tous formats d'énergie. Source: Auteur.	19
Figure I. 5: Consommation trimestrielle d'école Ben Makhfi, tous formats d'énergie. Source: Auteur.	19
Figure I. 6: Plan des salles de cours de la typologie de plan à corridor.	27
Figure I. 7: Plan des salles de cours de la typologie de plan à coursive.	27
Figure I. 8: Types de modèles conceptuels de bâtiments scolaires. Source: A. Rigolon, 2010.	36
Figure I. 9: Les modèles simulés par Depecker et al (2001).	37
Figure I. 10: Les dix typologies utilisées par Besh (2002). Source: E. Montenegro Iturra, 2011.	38
Figure I. 11: Formes du bâtiment étudiées par Al Anzi et al, 2009.	39
Figure I. 12: Coupe de principe d'un habitat en climat équatorial. Source: A. Liébard et A. De Herde, 2005.	40
Figure I. 13: Village traditionnel (Laos),	41
Figure I. 14: Tapisserie représentant diverses activités en zone tropicale sèche. Source: A. Liébard et A. De Herde, 2005.	42
Figure I. 15: Ville de la vallée du M'Zab (Sahara algérien). Source: A. Liébard et A. De Herde, 2005.	43
Figure I. 16: Eastgate à Harare (Zimbabwe) (arch. M.L.Pearce). Source: A. Liébard et A. De Herde, 2005.	44
Figure I. 17: Première maison solaire passive française en Méditerranée (arch. M.Gerber). Source: A. Liébard et A. De Herde, 2005.	45
Figure II. 1: Situation géographique de la wilaya de Msila à l'échelle nationale.	50
Figure II. 2: Les limites territoriales d'Ouled Derradj et de la wilaya de Msila. Source: Auteur.	51
Figure II. 3: Carte de l'irradiation globale et de l'ensoleillement en Algérie. Source : Carte solaire (CDER) 2017.	55
Figure II. 4: Plan de situation de l'école. Source : GOOGLE EARTH (réadapté par l'auteur).	56
Figure II. 5: Plan de masse de l'école. Source : GOOGLE EARTH (réadapté par l'auteur).	57
Figure II. 6: Environnement immédiat de l'école primaire. Source : Auteur.	58
Figure II. 7: Environnement immédiat de l'école primaire. Source : Auteur.	58
Figure II. 8: le premier bloc construit de l'école, un bloc de 6 S.D.C. Source : Auteur.	58
Figure II. 9: Dimensions de la salle de classe. Source : Auteur.	59
Figure II. 10: L'interface du logiciel ArchiCAD. Source: Auteur.	61
Figure II. 11: Interface de logiciel EcoDesigner STAR, version 4.6.16.	61
Figure II. 12: L'interface d'EcoDesigner STAR, version 4.6.16. Source auteur.	63
Figure II. 13: Insertion et modification de composition des murs et planchers sous ArchiCAD. Source: Auteur.	66
Figure II. 14: La forme existante, modèle du cas d'étude. Source: Auteur.	68
Figure II. 15: La forme du 1er modèle proposé. Source: Auteur.	68
Figure II. 16: La forme du 2me modèle proposé. Source: Auteur.	69
Figure II. 17: La forme du 3me modèle proposé. Source: Auteur.	69
Figure II. 18: La consommation globale annuelle de tous les modèles étudiées. Source : Auteur.	73

Figure II. 19: La consommation en chauffage. Source : Auteur.	74
Figure II. 20: La consommation en climatisation. Source : Auteur.	75
Figure II. 21: La consommation en eau chaude sanitaire. Source : Auteur.	76
Figure II. 22: La consommation en éclairage et en équipement.....	77
Figure II. 23: le coefficient de forme de différents modèles. Source : Auteur.....	78
Figure II. 24: Rapport consommation globale annuelle / compacité.....	79
Figure II. 25: Rapport consommation en chauffage / compacité.	80
Figure II. 26: Rapport consommation en climatisation / compacité.....	81
Figure II. 27: Rapport consommation en eau chaude sanitaire / compacité. Source : Auteur.....	82
Figure II. 28: Rapport consommation en éclairage et équipements / compacité. Source : Auteur.	83
Figure II. 29: Consommation trimestrielle d'école Elghazali, tous formats d'énergie. Source: Auteur.....	85
Figure II. 30: Consommation annuelle d'école Elghazali, tous formats d'énergie. Source: Auteur.	85
Figure II. 31: Comparaison entre la consommation annuelle Réelle et simulé. Source: Auteur.	87

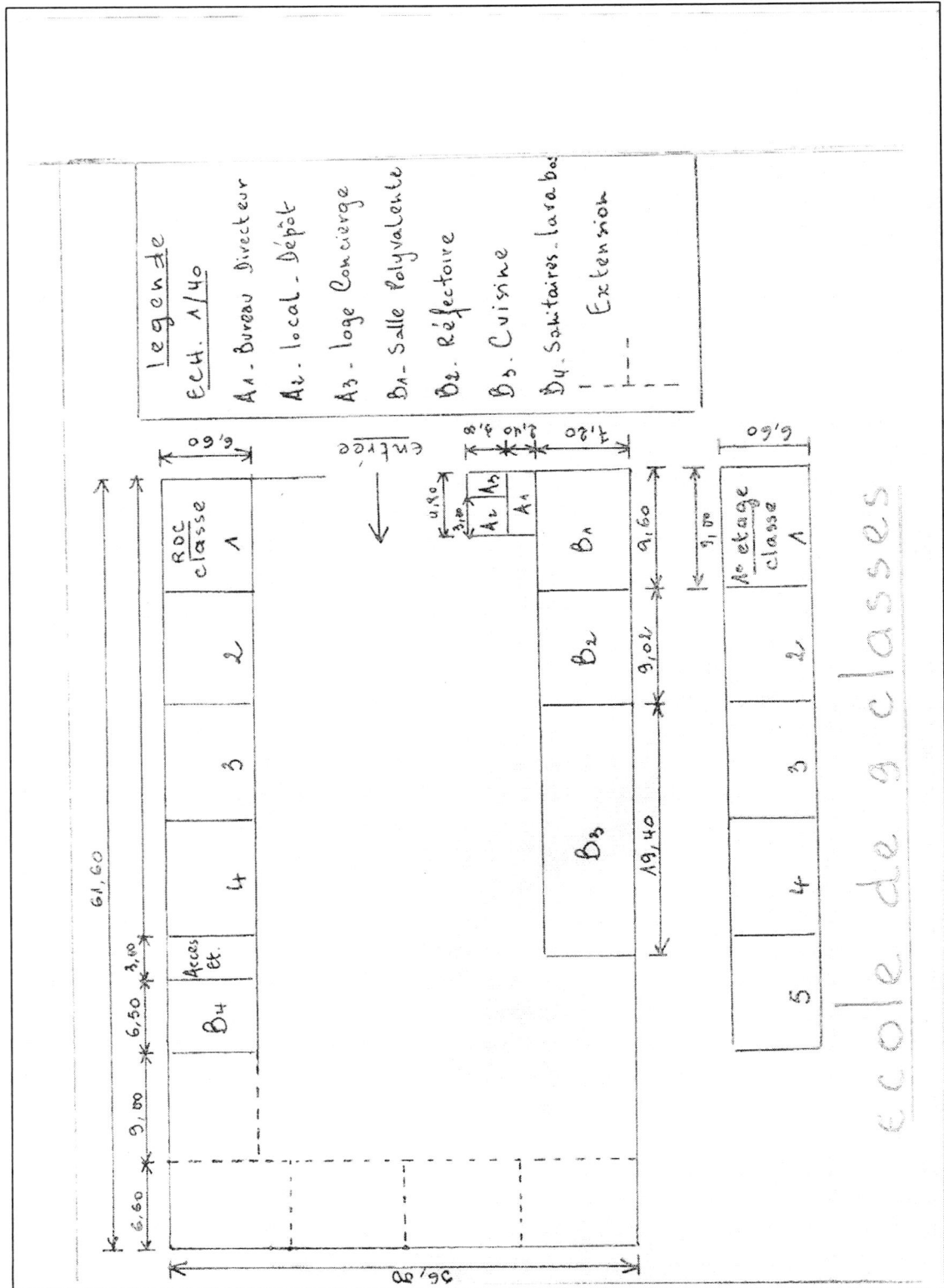
Liste des tableaux :

Tableau I. 1: Le pouvoir calorifique pour quelques formats d'énergie primaire.	15
Tableau I. 2: Consommation moyenne unitaire des infrastructures communales. Source: M. Boughedaoui, 2015.	17
Tableau I. 3: Consommation trimestrielle d'énergie d'école Ben Makhfi Mohammed pour l'année 2016. Source: Auteur.	18
Tableau I. 4: Aperçu des outils d'analyse et de modélisation disponibles pour les stratégies passives. Source : D. Forgues et Al, 2016.	21
Tableau I. 5: Capacité d'accueil des écoles selon le type. Source : A. Fatma, 2014.....	28
Tableau I. 6: La table de recommandations pour le climat de Belem (Brésil).	41
Tableau I. 7: La table de recommandations pour le climat de New Delhi (Inde).	42
Tableau I. 8: La table de recommandations pour le climat de Bamako (Mali).	43
Tableau I. 9: La table de recommandations pour le climat de Bagdad (Irak).	44
Tableau I. 10: La table de recommandations pour le climat de Nairobi (Kenya).....	45
Tableau I. 11: La table de recommandations pour le climat de Tel-Aviv (Palestine occupé).	46
Tableau II. 1: La température moyenne mensuelle de Msila pour les années (2012-2016).	53
Tableau II. 2: Bilan vitesse de vent moyenne mensuelle de Msila en m/s (2012-2016).....	53
Tableau II. 3: L'humidité relative moyenne mensuelle de M'sila (2012-2016).	54
Tableau II. 4: Les précipitations moyennes mensuelles de M'sila (2012-2016).	54
Tableau II. 5: L'interprétation de l'indice d'aridité. Source: Auteur.	56
Tableau II. 6: Description des caractéristiques des parois, planchers et des ouvertures du cas d'étude. Source: Auteur.	67
Tableau II. 7: Le coefficient de forme de différents modèles. Source : Auteur.....	78
Tableau II. 8: Consommation trimestrielle d'énergie d'école Elghazali. Source: Auteur.....	85

Annexes

Annexe A : Plan type proposé par le ministère de l'éducation national.

Plan type proposé par le ministère : (Arhab Fatma, 2014).



**Annexe B : Les factures du gaz et d'électricité de l'école
Ben Makhfi Mohammed ; pour l'année 2016.**

Les factures du gaz et d'électricité : (Agence commerciale de SONELGAZ Msila)

dat fac	tar cod	unité	le ref	le nom	num fac	ctr num	ctr etat	fac al hp	fac ml hp	fac al hc	fac ml hc	fac al pt	fac ml pt	fac org	hd final
13/03/2016	E02	kwh	289910700185170	ECOLE BEN MEKHEFI	341160306232	138724	3	2578	33117	0	0	0	0	0	7339
13/03/2016	G88	m3	289910700185170	ECOLE BEN MEKHEFI	341160306232	006182	3	88016	94435	0	0	0	0	0	6419
13/06/2016	E02	kwh	289910700185170	ECOLE BEN MEKHEFI	341160606272	138724	3	33117	33117	0	0	0	0	0	0
13/06/2016	G88	m3	289910700185170	ECOLE BEN MEKHEFI	341160606272	006182	3	94435	94435	0	0	0	0	0	0
13/09/2016	E02	kwh	289910700185170	ECOLE BEN MEKHEFI	341160906292	138724	3	33117	41759	0	0	0	0	0	8642
13/09/2016	G88	m3	289910700185170	ECOLE BEN MEKHEFI	341160906292	006182	3	91435	91798	0	0	0	0	0	363
13/12/2016	E02	kwh	289910700185170	ECOLE BEN MEKHEFI	341161206316	138724	3	41759	46539	0	0	0	0	0	4780
13/12/2016	G88	m3	289910700185170	ECOLE BEN MEKHEFI	341161206316	006182	3	91798	96536	0	0	0	0	0	1538

Annexe C : Les résultats des simulations.

Estimation de performance énergétique: Valeurs clef

Forme existante

Valeurs clef

Données générales de projet		Coefficients transfert chaleur		Indice U	[W/m²K]
Nom du projet :	Forme existante	Moyenne gros oeuvre :		2,08	
Emplacement ville :	Ouled Derradj	Planchers :		2,64 - 2,64	
Latitude :	35° 40' 0" N	Externe :		1,79 - 2,10	
Longitude :	4° 30' 0" E	Sous terre :		--	
Altitude :	441,00 m	Ouvertures :		2,93 - 3,33	
Source de données :	M'sila_Algerie-hour.csv				
Date d'estimation :	03/12/2017 8:33:40 PM				
Données géométriques du bâtiment		Valeurs annuelles spécifiques			
Surface étage brute :	415,80 m²	Energie chauffage nette :	11,88	kWh/m²a	
Surface de sol traitée :	380,16 m²	Energie refroidissement nette :	43,75	kWh/m²a	
Surface enveloppe externe :	828,10 m²	Energie nette totale :	55,63	kWh/m²a	
Volume aéré :	1199,02 m³	Consommation énergétique :	129,83	kWh/m²a	
Taux de brillance :	7 %	Consommation de carburant :	129,83	kWh/m²a	
		Energie primaire :	41,76	kWh/m²a	
		Coût carburant :	--	EUR/m²a	

1er Modèle - Plan de l'ensemble à atrium collectif

Valeurs clef

Données générales de projet		Coefficients transfert chaleur		Indice U	[W/m²K]
Nom du projet :	2 eme Forme proposee - ...	Moyenne gros oeuvre :		2,19	
Emplacement ville :	Ouled Derradj	Planchers :		0,53 - 0,53	
Latitude :	35° 40' 0" N	Externe :		1,90 - 2,39	
Longitude :	4° 30' 0" E	Sous terre :		--	
Altitude :	441,00 m	Ouvertures :		3,33 - 3,33	
Source de données :	M'sila_Algerie-hour.csv				
Date d'estimation :	03/12/2017 8:57:45 PM				
Données géométriques du bâtiment		Valeurs annuelles spécifiques			
Surface étage brute :	1331,02 m²	Energie chauffage nette :	9,58	kWh/m²a	
Surface de sol traitée :	1231,15 m²	Energie refroidissement nette :	26,94	kWh/m²a	
Surface enveloppe externe :	1268,73 m²	Energie nette totale :	36,52	kWh/m²a	
Volume aéré :	3893,94 m³	Consommation énergétique :	101,31	kWh/m²a	
Taux de brillance :	9 %	Consommation de carburant :	101,31	kWh/m²a	
		Energie primaire :	45,45	kWh/m²a	
		Coût carburant :	--	EUR/m²a	

2me Modèle - Plan de l'ensemble à galerie pédagogique collective

Valeurs clef

Données générales de projet		Coefficients transfert chaleur		Indice U	[W/m²K]
Nom du projet :	3 eme Forme proposee - ...	Moyenne gros oeuvre :		2,12	
Emplacement ville :	Ouled Derradj	Planchers :		2,64 - 2,64	
Latitude :	35° 40' 0" N	Externe :		1,62 - 2,10	
Longitude :	4° 30' 0" E	Sous terre :		--	
Altitude :	441,00 m	Ouvertures :		3,00 - 3,33	
Source de données :	M'sila_Algerie-hour.csv				
Date d'estimation :	03/12/2017 9:01:30 PM				
Données géométriques du bâtiment		Valeurs annuelles spécifiques			
Surface étage brute :	1478,75 m²	Energie chauffage nette :	9,37	kWh/m²a	
Surface de sol traitée :	1363,63 m²	Energie refroidissement nette :	29,42	kWh/m²a	
Surface enveloppe externe :	2014,26 m²	Energie nette totale :	38,79	kWh/m²a	
Volume aéré :	4312,54 m³	Consommation énergétique :	99,31	kWh/m²a	
Taux de brillance :	14 %	Consommation de carburant :	99,31	kWh/m²a	
		Energie primaire :	47,12	kWh/m²a	
		Coût carburant :	--	EUR/m²a	

3me Modèle - Plan du groupe de bâtiments - Alignement d'unités

Valeurs clef

Données générales de projet		Coefficients transfert chaleur		Indice U	[W/m²K]
Nom du projet :	1 ere Forme proposee - P...	Moyenne gros oeuvre :		2,17	
Emplacement ville :	Ouled Derradj	Planchers :		2,64 - 2,64	
Latitude :	35° 40' 0" N	Externe :		1,79 - 2,39	
Longitude :	4° 30' 0" E	Sous terre :		--	
Altitude :	441,00 m	Ouvertures :		2,92 - 3,38	
Source de données :	M'sila_Algerie-hour.csv				
Date d'estimation :	03/12/2017 8:48:07 PM				
Données géométriques du bâtiment		Valeurs annuelles spécifiques			
Surface étage brute :	539,53 m²	Energie chauffage nette :	10,24	kWh/m²a	
Surface de sol traitée :	492,73 m²	Energie refroidissement nette :	27,52	kWh/m²a	
Surface enveloppe externe :	848,87 m²	Energie nette totale :	37,77	kWh/m²a	
Volume aéré :	1557,25 m³	Consommation énergétique :	99,78	kWh/m²a	
Taux de brillance :	16 %	Consommation de carburant :	99,78	kWh/m²a	
		Energie primaire :	46,53	kWh/m²a	
		Coût carburant :	--	EUR/m²a	

Estimation de performance énergétique

Consommation énergétique par cibles

Forme existante

Consommation énergie par cibles

Nom de cible	Energie			CO ₂
	Quantité kWh/a	Primaire kWh/a	Coût EUR/a	Emission kg/a
■ Chauffage	4515	0	0	0
■ Refroidissement	16631	0	0	0
■ Eau chaude	22916	0	0	0
■ Ventilateurs aération	0	0	0	0
■ Eclairage et équipements	5291	15875	0	1143
Total :	49355	15875	ND	1143

1er Modèle - Plan de l'ensemble à atrium collectif

Consommation énergie par cibles

Nom de cible	Energie			CO ₂
	Quantité kWh/a	Primaire kWh/a	Coût EUR/a	Emission kg/a
■ Chauffage	11794	0	0	0
■ Refroidissement	33172	0	0	0
■ Eau chaude	61110	0	0	0
■ Ventilateurs aération	0	0	0	0
■ Eclairage et équipements	18650	55952	0	4028
Total :	124728	55952	ND	4028

2me Modèle - Plan de l'ensemble à galerie pédagogique collective

Consommation énergie par cibles

Nom de cible	Energie			CO ₂
	Quantité kWh/a	Primaire kWh/a	Coût EUR/a	Emission kg/a
■ Chauffage	12770	0	0	0
■ Refroidissement	40121	0	0	0
■ Eau chaude	61110	0	0	0
■ Ventilateurs aération	0	0	0	0
■ Eclairage et équipements	21416	64250	0	4626
Total :	135419	64250	ND	4626

3me Modèle - Plan du groupe de bâtiments - Alignement d'unités

Consommation énergie par cibles

Nom de cible	Energie			CO ₂
	Quantité kWh/a	Primaire kWh/a	Coût EUR/a	Emission kg/a
■ Chauffage	5046	0	0	0
■ Refroidissement	13561	0	0	0
■ Eau chaude	22916	0	0	0
■ Ventilateurs aération	0	0	0	0
■ Eclairage et équipements	7642	22927	0	1650
Total :	49167	22927	ND	1650

**Annexe D : Les factures du gaz et d'électricité de l'école
Elgazali ; pour l'année 2015.**

Les factures du gaz et d'électricité : (Service financier de la commune d'Ouled Derradj)

Facture n° 01: du Mars 2015

288042400145129	E02	009550	11659	11659	1.000	0.0	4.179	262.20				
								PRIME FIXE ELECTRICITE				
	G83	394304	70524	70524	9.300	1125.0	0.168	189.00				
								PRIME FIXE GAZ				
								TOTAL ENERGIE				
ECOLE EL GHAZALI								OULED DERRADJI				
Dont	63.77							TOTAL REF.				31767.48
288042400147153	E02	044692	2469	2469	1.000	1280.0	4.179	3349.12				
								PRIME FIXE ELECTRICITE				
								TOTAL ENERGIE				
CANTINE ECOLE GHEZALI								OULED DERRADJ				
Dont	2.44							TOTAL REF.				3004.11
								DA Contribution aux Coûts Permanents du Systeme		7%	2078.24	31767.48

Facture n° 02: du Juin 2015

288042400145129	E02	009550	11659	11659	1.000	0.0	4.179	0.00				
								PRIME FIXE ELECTRICITE				
	G83	394304	70524	70904	9.300	1125.0	0.168	189.00				
								PRIME FIXE GAZ				
								TOTAL ENERGIE				
ECOLE EL GHAZALI								OULED DERRADJI				
Dont	2.47							TOTAL REF.				1409.41
288042400147153	E02	044692	7749	8866	1.000	1117.0	4.179	4667.94				
								PRIME FIXE ELECTRICITE				
								TOTAL ENERGIE				
CANTINE ECOLE GHEZALI								OULED DERRADJ				
Dont	8.38							TOTAL REF.				5275.24
								DA Contribution aux Coûts Permanents du Systeme		7%	92.20	1409.41

Facture n° 03: du Septembre 2015

288042400145129	E02	009550	11659	23171	1.000	1518.0	4.179	48193.72				
								PRIME FIXE ELECTRICITE				
	G83	394304	70904	70934	9.300	279.0	0.168	46.82				
								PRIME FIXE GAZ				
								TOTAL ENERGIE				
ECOLE EL GHAZALI								OULED DERRADJI				
Dont	86.58							TOTAL REF.				31773.26
288042400147153	E02	044692	8866	10164	1.000	1298.0	4.179	5424.34				
								PRIME FIXE ELECTRICITE				
								TOTAL ENERGIE				
CANTINE ECOLE GHEZALI								OULED DERRADJ				
Dont	9.73							TOTAL REF.				3004.11
								DA Contribution aux Coûts Permanents du Systeme		7%	3394.97	31773.26

Facture n° 04: du Decembre 2015

288042400145129	E02	009550	23171	23171	1.000	0.0	4.179	0.00				
								PRIME FIXE ELECTRICITE				
	G83	394304	70934	73189	9.300	1125.0	0.168	189.00				
								PRIME FIXE GAZ				
								TOTAL ENERGIE				
ECOLE EL GHAZALI								OULED DERRADJI				
Dont	14.68							TOTAL REF.				7454.47
288042400147153	E02	044692	10164	11019	1.000	855.0	4.179	3573.04				
								PRIME FIXE ELECTRICITE				
								TOTAL ENERGIE				
CANTINE ECOLE GHEZALI								OULED DERRADJ				
Dont	6.41							TOTAL REF.				4103.70
								DA Contribution aux Coûts Permanents du Systeme		7%	268.46	7454.47