

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE SAAD DAHLAB BLIDA -01-

INSTITUT D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

Département d'Architecture

Mémoire de Master en Architecture.

Atelier : Architecture, Environnement et Technologies

**Amélioration de la performance énergétique et du confort visuel
des établissements éducatifs**

**P.F.E : Conception d'un Learning space adapté aux nouveaux
modes d'apprentissage**

Présenté par:

RAHALI Nesrine, 202032062479.

SAIDANI Meryem, 202032058419.

Groupe : 06.

Encadrées par:

M. KHELIFI Lamia

Mr. BOUADI Mahmoud

M. KASSA Souhila

Du jury:

Dr. BENKAHOUL

M. OUADAH

Année universitaire: 2024/2025

Remerciements

Le plus grand remerciement au bon Dieu, le Tout-Puissant et Miséricordieux, qui nous a donné la force, le courage et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Nous tenons tout d'abord à exprimer nos plus sincères remerciements et toute notre gratitude à nos encadreurs, Dr KHELIFI Lamia, M. Bouadi Mahmoud et Mme Kassa Souhila, pour leur présence, leur patience et leurs judicieux conseils. Ils se sont toujours montrés disponibles et à l'écoute. Nous les remercions pour l'aide et le temps qu'ils ont bien voulu nous consacrer.

Nous remercions aussi tout particulièrement M. HIRECHE pour son accompagnement et son soutien précieux.

Nous adressons également nos remerciements à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation durant ces cinq années d'études, ainsi qu'à tous les enseignants de l'Institut d'Architecture de Blida.

Enfin, nous remercions nos chers parents pour leur soutien indéfectible et tous nos camarades d'atelier, ainsi que nos amis proches avec qui nous avons partagé tant de moments durant notre vie universitaire.

Un grand merci à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à l'accomplissement de notre travail de fin d'études.

Dédicace 1

M'est infiniment agréable d'exprimer ma profonde reconnaissance à toutes celle set tous ceux qui, par leur précieuse aide, leur assistance dévouée et leurs conseils avisés, ont contribué de manière significative à l'aboutissement de cette réalisation.

Je tiens du plus profond de mon être à formuler ma gratitude éternelle et ma reconnaissance absolue envers Allah Le Tout-Puissant, qui m'a créée, guidée, orientée et dotée de patience, et qui m'a comblée de succès. Devant Sa grandeur infinie, je m'incline avec humilité.

À la Mémoire de ma Bien-aimée

Je dédie ce travail en premier lieu à la mémoire de ma chère grand-mère DJAOUHAR, qu'Allah lui accorde Sa miséricorde, dont l'amour inconditionnel et les précieux souvenirs demeureront éternellement gravés dans mon cœur et mes pensées.

Qu'Allah

T'accorde Sa sainte miséricorde et T'accueille en Son vaste paradis.

À mes Piliers de Vie

À ma grand-mère FATEMA, qu'Allah prolonge sa vie, qui m'a énormément soutenue par ses prières bénies, son amour sans limites et ses conseils précieux tout au long de mon parcours académique et universitaire.

À celle dont le mérite et le respect sont infinis, qui m'a offert amour, tendresse, compréhension, courage et détermination, qui m'a permis de surmonter chaque épreuve pour donner le meilleur de moi-même : à toi, ma très chère

MAMAN Zohra, qui as su m'accompagner avec patience durant tout mon parcours éducatif.

À mon cher PÈRE ALI, l'épaule solide sur laquelle je peux toujours m'appuyer, le regard bienveillant

et compréhensif, la personne la plus digne de mon estime et de mon respect. Aucun dédicace ne saurait exprimer pleinement mes sentiments. Qu'Allah te préserve et t'accorde santé et longévité.

À ma Fratrie Bien-Aimée

À ma chère sœur RAZIKA, pour sa présence constante, sa bienveillance inébranlable et son soutien indéfectible qui ont toujours été une source de réconfort et d'inspiration dans ma vie.

À mes frères SAID, AISSA et ZAKARIA, véritables piliers de mon existence, pour leur force, leurs encouragements constants et leur fraternité inestimable qui m'ont accompagnée à chaque étape de mon parcours. Vous êtes une part essentielle de ma réussite.

Une pensée toute particulière pour l'épouse de mon frère HANAN et ma petite nièce ROUYA Farah, ma précieuse poupée, qui illumine nos vies de sa joie innocente.

À mes Compagnons de Route

À ma binôme RAHALI NESRINE, qui a été bien plus qu'une simple collaboratrice durant ces années universitaires. Sans ton partenariat exceptionnel, ce projet n'aurait pu voir le jour.

À mes chères familles SAIDANI et SLIMANI, pour leur soutien indéfectible et leur présence réconfortante.

À ma cousine WIDAD et à mes amies ASMA, AMAL, CHAIMA, pour les moments précieux partagés ensemble, votre écoute attentive et vos encouragements constants qui ont éclairé mon chemin.

Un

immense merci au Dr. AMEL, une personne au cœur d'or, pour son aide inestimable, ses conseils éclairés et sa bienveillance exceptionnelle.

Enfin, à tous ceux que j'aime et à tous ceux qui m'ont aidée de près ou de loin, votre contribution précieuse a été essentielle à l'accomplissement de ce travail.

À vous tous, je dis et dirai toujours avec le cœur : MERCI !

SAIDANI MERYE

Dédicace 2

Je dédie ce mémoire, avant tout, à mes parents bien-aimés.

À mon père, pilier de ma vie, pour sa sagesse, sa force silencieuse et ses sacrifices inestimables.

À ma mère, lumière de mon quotidien, dont l'amour infini, les prières et la tendresse ont été mon refuge dans les moments d'incertitude.

Rien de tout cela n'aurait été possible sans leur foi en moi, leur patience et leur amour inconditionnel.

À mes sœurs, à mon frère, et à toute ma famille bien-aimée, merci pour votre chaleur, vos encouragements et votre présence constante.

Mes remerciements les plus sincères à mon binôme, Saidani Meriem. Une personne sérieuse, engagée, et d'une grande rigueur professionnelle. Ce fut un réel honneur de collaborer avec elle tout au long de ce projet.

Une pensée toute particulière à mes chères amies : Yousra, Roukia, Sarah et Aya — que j'ai trouvées dans les moments les plus difficiles. Elles ont su apaiser mon stress et ramener le sourire quand j'en avais le plus besoin. Leur présence a été un vrai réconfort.

Ce mémoire marque l'aboutissement de cinq années d'efforts, de persévérance et de passion pour l'architecture — un chemin parfois difficile, mais profondément enrichissant.

Et tout cela, uniquement par la grâce et le succès accordés par Allah, Le Tout-Puissant.

RAHALI NESRINE

Résumé

Dans un contexte mondial marqué par les changements climatiques et la nécessité de réduire les émissions de gaz à effet de serre, le secteur du bâtiment apparaît comme un levier prioritaire de la transition énergétique. En effet, il représente l'un des domaines les plus énergivores, notamment en raison d'une conception architecturale souvent peu adaptée aux conditions climatiques locales et aux enjeux de durabilité. Face à cela, l'adoption d'approches bioclimatiques et de stratégies passives permet non seulement de réduire la consommation énergétique, mais également d'améliorer la qualité des ambiances intérieures, en particulier le confort thermique et visuel.

Ce mémoire s'intéresse à l'optimisation de la performance énergétique et du confort visuel dans les établissements éducatifs, à travers l'étude et l'application de stratégies architecturales passives. Il s'agit notamment d'analyser l'impact de l'orientation du bâtiment, du choix des vitrages, des dispositifs de protection solaire, de la morphologie spatiale et des apports en lumière naturelle, dans le but de concevoir des environnements d'apprentissage à la fois performants, agréables et durables.

L'ensemble de ces réflexions a été appliqué à un Projet de Fin d'Études, qui consiste en la conception d'un Learning Spaces au sein d'un éco-quartier à Boufarik. Ce projet propose un espace éducatif innovant, modulable, et ancré dans les principes du développement durable, en intégrant des solutions architecturales et techniques adaptées au climat local. L'approche adoptée repose sur une articulation entre confort des usagers, sobriété énergétique et intégration paysagère.

Une étude comparative par simulation thermique dynamique (STD) a été menée à l'aide du logiciel DesignBuilder, afin de tester différents scénarios de vitrage et de protections solaires, dans le but de valider les choix de conception et d'assurer une performance énergétique optimisée tout en respectant les normes de confort visuel.

Cette démarche permet ainsi de proposer un modèle reproductible d'espace d'apprentissage durable, adapté aux nouveaux besoins pédagogiques et environnementaux, et offre une réponse concrète aux défis énergétiques et climatiques dans le domaine de l'architecture scolaire.

Mots-clés : Architecture bioclimatique, Confort thermique, Éclairage naturel, Établissements éducatifs.

Abstract

In the face of global climate change and the pressing need to reduce greenhouse gas emissions, the building sector plays a crucial role in achieving energy transition goals. It remains one of the most energy-consuming sectors, mainly due to architectural designs that

are often poorly adapted to local climate conditions and sustainability concerns.

This thesis explores the implementation of bioclimatic architecture and passive design strategies in educational facilities, with the aim of improving both energy efficiency and indoor comfort — particularly thermal and visual comfort. The study focuses on essential architectural factors such as building orientation, glazing types, solar protection systems, spatial morphology, and natural lighting.

These principles were applied in a Final Year Project involving the design of an innovative **Learning Space** within an eco-district in Boufarik. The project envisions a flexible, sustainable educational environment that aligns with the principles of sustainable development and responds effectively to the local climate context.

A dynamic thermal simulation (DTS) using DesignBuilder software was carried out to evaluate various design scenarios, including glazing options, shading systems, and daylight availability. These simulations helped validate the design decisions and optimize energy performance while ensuring visual comfort standards were met.

This work offers a reproducible architectural model for sustainable school design, meeting current educational and environmental challenges.

Keywords: Bioclimatic architecture, Visual comfort, Natural lighting, Educational buildings.

المخلص

في ظل التحديات المناخية المتزايدة والحاجة إلى خفض انبعاثات الغازات الدفيئة، يعتبر قطاع البناء عنصرًا محوريًا في مسار الانتقال الطاقوي. فهو يعد من أكثر القطاعات استهلاكًا للطاقة، ويرجع ذلك غالبًا إلى التصاميم المعمارية التي لا تراعي الظروف المناخية المحلية ولا تتماشى مع مبادئ الاستدامة. يركز هذا البحث على تحسين أداء الطاقة والراحة البصرية والحرارية في المؤسسات التعليمية من خلال اعتماد العمارة المستدامة وتطبيق استراتيجيات معمارية سلبية. وتشمل الدراسة تحليل تأثير توجيه المبنى، نوع الزجاج، أنظمة الحماية الشمسية، التكوين الفضائي، وكذا استغلال الإضاءة الطبيعية. تم تطبيق هذه المبادئ في مشروع نهاية الدراسة، والمتمثل في تصميم فضاء تعليمي داخل حي مستدام في بوفاريك. يهدف المشروع إلى إنشاء بيئة تعليمية مرنة، مستدامة، ومتكيفة مع المناخ المحلي، تجمع بين الراحة الطاقوية والبصرية وتندرج ضمن أهداف التنمية المستدامة. لاختبار عدة سيناريوهات تتعلق بأنظمة الزجاج DesignBuilder أجريت محاكاة حرارية ديناميكية باستخدام برنامج والحماية الشمسية ونسبة الإضاءة الطبيعية، ما ساهم في تعزيز قرارات التصميم وضمان تحقيق أداء طاقي مثالي مع احترام معايير الراحة. يقدم هذا العمل نموذجًا يمكن تكراره في تصميم المدارس المستقبلية، يواكب المتطلبات البيئية والتربوية المعاصرة.

الكلمات المفتاحية : العمارة المستدامة، الراحة البصرية، الإضاءة الطبيعية، المؤسسات التعليمية.

Sommaire :

REMERCIEMENTS	2
DÉDICACE 1	3
DÉDICACE 2	4
RÉSUMÉ	5
<i>Mots-clés :</i>	<i>5</i>
ABSTRACT	5
<i>Keywords:</i>	<i>6</i>
الملخص	6
<i>الكلمات المفتاحية :</i>	<i>6</i>
SOMMAIRE :	7
LA LISTE DES TABLEAUX	11
LA LISTE DES FIGURES	12
THÉMATIQUE DE L'ATELIER : ARCHITECTURE, ENVIRONNEMENT ET TECHNOLOGIES	17
OBJECTIFS DE L'ATELIER	17
<i>Équipe pédagogique :</i>	<i>17</i>
CHAPITRE 1	1
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
I. INTRODUCTION	2
II. PROBLÉMATIQUE GÉNÉRALE :	3
III. PROBLÉMATIQUE SPÉCIFIQUE :	3
IV. LES HYPOTHÈSES :	4
V. OBJECTIFS DE LA RECHERCHE :	4
VI. MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE :	5
VII. STRUCTURE DE MÉMOIRE :	6
CHAPITRE 2	7
ÉTAT DE CONNAISSANCE	7
I. INTRODUCTION :	8
II. LE DÉVELOPPEMENT DURABLE	8
II.1 Définition de développement durable :	8
II.2 Les objectifs du développement durable :	8
II.3 Aperçu Historique du développement durable :	9
II.4 Le Développement Durable en Algérie :	9
II.5 En résumé le développement durable :	9
III. LA CONCEPTION BIOCLIMATIQUE :	10
III.1 Echelle urbaine : ECO-QUARTIER	10
a. Définition :	10
b. Les objectifs d'un éco-quartier :	10
c. Les enjeux d'un éco quartier :	11
d. Comment planifier et aménager un éco-quartier ?	12
III.2 Architecture bioclimatique « Stratégies et Principes » :	13
a. Objectifs de l'architecture bioclimatique :	13
b. Les paramètres de l'architecture bioclimatique passive :	14
IV. LE CONFORT EN ARCHITECTURE :	22
1. Définition du « Confort » :	22
2. Types de confort :	22

3.	<i>Le confort visuel :</i>	22
3.1	Définitions du « Confort visuel » :	22
3.2	Notions de base :	23
3.4	L'éclairage, un vrai sujet d'optimisation énergétique :	24
3.5	Confort visuel et bien-être :	26
3.6	Le confort visuel contribue à l'apprentissage des enfants :	26
3.7	Méthodes d'évaluation de confort visuel :	27
V.	L'ÉDUCATION :	28
V.1	Définition de l'éducation :	28
V.2	Définition des concepts liés à l'éducation :	28
V.4	L'école primaire :	29
V.4.1	Définition de l'école / école primaire :	29
V.4.2	Objectif de l'école primaire :	30
V.4.3	Exigences des écoles primaires :	30
V.4.4	Types conceptuelles des écoles primaires :	30
V.4.5	Les types des écoles primaires en Algérie :	33
V.4.6	L'organisation fonctionnelle d'une école primaire :	34
V.4.7	Les formes de classes :	34
V.4.8	Les normes des espaces :	35
V.5	la nouvelle pédagogie :	36
V.5.1	Les exigences pédagogiques :	36
V.6	Learning spaces «Espaces d'apprentissage» :	38
V.6.1	Définition :	38
V.6.2	Caractéristiques Clés des Espaces d'Apprentissage Efficaces :	39
V.6.3	Types d'Espaces d'Apprentissage :	39
V.6.4	Considérations de Conception :	40
V.6.5	Manière d'organisation :	41
VI.	ANALYSE DES EXEMPLES : ÉCO QUARTIER :	42
	<i>Exemple 01 : Éco quartier GINKO :</i>	42
VII.	ANALYSE DES EXEMPLES : LEARNING SPACES :	43
	<i>Exemple 01 : JingLong elementary school :</i>	43
	SYNTHÈSE :	44
CHAPITRE 3 :		45
CAS D'ÉTUDE :		45
I.	INTRODUCTION :	46
II.	PRÉSENTATION DE LA VILLE :	46
I.1.	Situation géographique de la ville :	46
I.2	Accessibilité :	47
III.	ANALYSE URBAINE DE LA VILLE : PROCESSUS DE FORMATION ET DE TRANSFORMATION :	48
III.1	Analyse diachronique :	48
	Synthèse de la croissance :	49
1.	Croissance initiale: la première phase de croissance se déroule à l'intérieur des remparts de la ville, adoptant un modèle semi-concentrique puis linéaire. :	49
2.	Impact de chemin de fer: chemin de fer entraîne la destruction des remparts, orientant la croissance vers le sud, où la voie ferrée devient une nouvelle barrière de développement. :	49
3.	Expansion vers l'est et l'ouest: Une fois le chemin de fer établi, l'expansion s'oriente vers l'est (Oued Bouchemla) et l'ouest (RN1, Oued Khemessi), créant ainsi de nouvelles barrières de croissance. :	49
4.	Franchissement des barrières: La croissance continue à surmonter ces obstacles, avec l'autoroute devenant la seule barrière au nord et à l'ouest. :	49
5.	Développement anarchique actuel: Aujourd'hui, il n'existe plus de barrières significatives car l'autoroute a été franchie, entraînant un développement désordonné. :	49
III.3.	Analyse morphologique de la ville selon les 4 systèmes :	49
a.	Système viaire :	49
II.3.2	Système parcellaire :	51
II.3.3	Système bâti :	51
	Synthèse :	52
III.3.	ANALYSE DE LA ZONE D'INTERVENTION :	53
III.3.1.	Situation :	53

III.3.2. Analyse morphologique :	53
a. Système viaire :	53
b. Système bâti :	54
c. Système non bâti :	54
d. Système parcellaire :	54
<i>Le système parcellaire est le résultat de la trame viaire, donc il est presque régulier, variant entre des formes carrées et rectangulaires.</i>	54
III.4. Analyse SWOT :	55
III.5. Critique du POS 1 :	55
Synthèses : recommandations et principes urbains d'aménagement	56
IV. ANALYSE ENVIRONNEMENTALE :	58
IV.1. Analyse climatique à l'échelle de la ville :	58
Synthèse :	59
IV.2. Analyse climatique à l'échelle du site et de l'environnement immédiat :	59
Synthèse : recommandations et principes climatique	59
IV.3. La mobilité douce :	61
IV.4. végétation :	62
IV.5. Gestion des déchets :	62
IV.5.1.Types de déchets dans un éco quartier :	62
IV.5.2.Les points de collecte :	63
IV.5.3. Zones de compostages :	63
<i>Les zones de compostage permettent de valoriser les déchets organiques (restes alimentaires, déchets verts) directement sur place. Elles sont implantées à proximité des habitations (tous les 100 à 150 mètres) pour encourager la participation des habitants. On distingue généralement deux types : *Composteurs collectif *Composteurs individuels ou pédagogiques</i>	63
IV.6.Gestion des eaux pluviales :	64
IV.6.1.Systèmes passifs :	64
<i>*Toitures végétalisées : absorbent une partie des pluies et ralentissent l'écoulement. *Jardins de pluie : espaces verts déprimés qui recueillent temporairement l'eau. *Pavés drainants : favorisent l'infiltration de l'eau directement dans le sol.</i>	64
IV.6.2.Systèmes actifs :	64
IV.6.3.Type de revêtement adapté :	64
Synthèse : Genèse de conception de l'éco quartier	65
• Le programme de l'éco quartier :	67
• Plan d'aménagement de l'éco quartier :	68
• Place public :	69
V. LE PROJET ARCHITECTURAL :	71
V.1. Logique fonctionnelle et concepts liés au programme	71
V. 2. Organisation spatiale du projet	71
V.3. Concepts liés au site	72
V.4. Concepts liés à des références architecturales	73
1. La centralité aux équipements éducatifs :	73
2. La modularité des espaces pédagogiques :	73
3. L'ouverture sur l'environnement naturel :	74
4. La hiérarchie fonctionnelle et spatiale :	75
V.5.Concepts liés à l'environnement physique	75
V.5.1.Orientation du bâtiment	75
V.5.2. Zonage thermique (bioclimatique)	75
V.5.3. Ventilation naturelle	77
V.5.4. Dispositifs d'ombrage	78
V.5.5. Éclairage naturel	79
V.5.6. Intégration de la technologie des P.V :	80
V.5.7 Choix des matériaux :	81
V.6. Genèse du projet :	82
• Les étapes d'implantation de l'école primaire:	82
• Développement des entités :	82
2. Atelier d'apprentissage intérieur :	84
3. Administration + Cantine :	84
4. Apprentissage extérieur :	85
V.7. Composition des façades :	86

V.7. système structurel et technologies constructives :	87
CONCLUSION :	88
CHAPITRE 4 :	89
ETUDE NUMÉRIQUE ET PISTES D'OPTIMISATION ARCHITECTURELLE :	89
I. INTRODUCTION :	90
II. GÉNÉRALITÉ SUR LA STD :	90
II.1 Définition de la STD :	90
II.2 Objectifs de la STD :	90
II.3 Choix des logiciels de la STD :	90
a. Présentation de Design-Builder :	91
b. Présentation de Météo-norme :	91
II.4 Processus de la simulation sous Design-Builder :	92
II.4.1 Méthode de la simulation :	92
II.4.2 Présentation de cas d'étude :	93
a. Découpage de projet en zones thermique :	94
b. Caractéristiques thermiques des matériaux :	94
II.4.3 Variantes étudiées :	95
a. Choix des variantes étudiées :	95
b. Présentation des variantes étudiées :	95
II.5 Résultats obtenus et discussion :	96
II.5.1 Effet de type de vitrage sur le confort visuel :	96
Synthèse :	98
II.6 Performance énergétique :	99
CONCLUSION GÉNÉRALE :	101
Vérification des hypothèses :	101
PERSPECTIVES DE LA RECHERCHE :	102
BIBLIOGRAPHIE :	103
I. OUVRAGES ET MONOGRAPHIES :	104
II. ARTICLES ET PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES :	104
III. THÈSES ET MÉMOIRES :	104
IV. DOCUMENTS D'URBANISME :	104
V. GUIDES, RAPPORTS ET MANUELS :	104
VI. SITES INTERNET ET RESSOURCES EN LIGNE :	104
VII. DOCUMENTS TECHNIQUES ET NON PUBLIÉS :	105
VIII. LOGICIELS UTILISÉS :	105
ANNEXES :	106
ANNEXE 01 : ANALYSE DES EXEMPLES « ÉCO QUARTIER » :	107
Exemple 02: Le quartier Odysée Rive Gauche :	107
Exemple 03 : ZAC des Docks de Saint-Ouen :	108
ANNEXE 02 : ANALYSE DES EXEMPLES « LEARNING SPACES » :	109
Exemple 02 : SISB THONBU :	109
Exemple 03: Sunflower Kindergarten :	110
ANNEXE 03 : PRÉSENTATION DE POS N °01 :	111
ANNEXE 04 : LES PRINCIPES CLIMATIQUES DANS L'ÉCO QUARTIER :	112
ANNEXE 04 : LES PRINCIPES CLIMATIQUES DANS L'ÉCO QUARTIER :	112
ANNEXE 04 : NUISANCE SONORE DANS L'ÉCO QUARTIER :	113
ANNEXE 05 : L'ENSOLEILLEMENT :	113
ANNEXE 06 : LES RÉSULTATS DE SIMULATION « CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUES » :	114
a. Simple vitrage :	114
b. Double vitrage :	114
a. Dans la salle de classe : en plan :	115
b. Dans la salle de classe : en 3D à l'intérieur :	116

La liste des tableaux

Tableau 1 : les exigences d'implantation ; Source : guide pour la réalisation des établissements du premier cycle UNESCO paris	1
Tableau 2 description de type cour ; Source :rigolon, a 2010, traité par l'auteur	1
Tableau 3 : description de type bloc ; Source :rigolon, a 2010, traité par l'auteur	1
Tableau 4: description de type grappe ; Source : RIGOLON, a 2010, traité par l'auteur	1
Tableau 5: description de type ville ; Source :rigolon, a 2010, traité par l'auteur	1
Tableau 6 : zonage thermique de cas d'étude, Source : Auteure	1
Tableau 7 : caractéristiques des matériaux, source : auteure.....	1
Tableau 8 : caractéristiques des variantes étudiées, Source : auteure	1
Tableau 9 : résultats de simulation sur différents scénarios, Source: auteure	1
Tableau 10 : données nécessaires pour calculer les besoins lumineaire	1
Tableau 11 : Calcule de nombre de luminaire, source : auteure	1

La liste des figures

Figure 1 indicateurs des objectifs de développement durable ; source : labo.societenumerique.gouv.fr	8
Figure 2 : historique du développement durable; source :	9
Figure 3 : circuit du développement durable; source : traitée par l'auteur	9
Figure 4 : SCHEMA D'UN ECOQUARTIER ; SOURCE : PLANET-ENERGIE 2024.....	10
Figure 5 : SCHEMA DES OBJECTIFS D'ECOQUARTIER ; SOURCE : TEXTE DE GEOCONFLUENCES.ENS-LYON.FR/GLOSSAIRE/ECO QUARTIER +TRAITE PAR L'AUTEUR....	10
Figure 7 : un meilleur cadre de vie ; Source : fr.linkedin.com.....	11
Figure 6 : les 5 piliers d'un éco quartier ; Source :studocu.com.....	11
Figure 8 : PLANIFIER LA MIXITE FONCTIONNELLE DANS UN ECOQUARTIER DENSE ; SOURCE : ECOQUARTIER HAMMARBY SJIOSRAD STOCKHOLM	12
Figure 9: planifier et aménagement d'un éco quartier DENSE ; Source : HTTPS://www.esi- business-school.com.....	13
Figure 10 : principes de base d'une conception BIOCLIMATIQUE ; Source : étude rt2012	14
Figure 11 : les types de l'architecture bioclimatique ; source: traité par l'auteur	14
Figure 12 : ORIENTATION D'UN BATIMENT ; SOURCE : SLIDEPLAYER.FR.....	15
Figure 13 : PRINCIPE DE DISTANCE N-S ENTRE BATIMENTS ; SOURCE : cour de boukarta 2025.....	15
Figure 14: effet de L'ALBEDO ; Source : energyeducation.ca.....	15
Figure 16 : SCHEMA REPRESENTANT LE PRINCIPE D'ÎLOT DE CHALEUR URBAIN ; SOURCE : ilots de chaleur 5leviers pour rafraîchir la ville 17 mai 2023.....	16
Figure 15 : présentation de l'effet de la végétation; source : ilots de chaleur 5leviers pour rafraîchir la ville 17 mai 2023.....	16
Figure 17 : RESULTATS DES RECHERCHES SUR L'EFFET DE VEGETATION SUR LE BÂTIMENT ; SOURCE : ilots de chaleur 5leviers pour rafraîchir la ville 17 mai 2023 TRAITE PAR L'AUTEUR.....	17
Figure 18 : SCHEMA REPRÉSENTENT PHENOMENE D'EVAPORATION ; SOURCE : ilots de chaleur 5leviers pour rafraîchir la ville 17 mai 2023.....	17
Figure 19 : EFFET DE VENTILATION URBAINE SUR LES BÂTIMENT ; SOURCE : ilots de chaleur 5leviers pour rafraîchir la ville 17 mai 2023.....	18
Figure 20 : EFFET DE LA VEGETATION SUR LES VENTS ; SOURCE : ASJP.CERIEST.DZ.....	18
Figure 21 : la zone passive ; Source : rattiel al 2005	18
Figure 22 : enveloppe du bâtiment PERFORMANTE ; Source : réglementation des bâtiments 2020.....	19
Figure 23: technique d'isolation intérieur ; Source : nzeb.in.....	19
Figure 24: technique d'isolation extérieur ; Source :	19
Figure 25 : comparaison de la conductivité thermique des matériaux isolants ; Source : aprue 2014 traité par l'auteur	20
Figure 26: schéma des objectifs des protections solaires ; Source : LEZGRAG Lina 2017 traité par l'auteur.....	21
Figure 27 : TYPES DE CONFORT ; SOURCE : traitée par l'auteur.....	22
Figure 28 : les bases de NOTION ; Source : BATIR l'école 2 notice technique 2 éclairage	23
Figure 29: effet cumulés de l'éclairage direct et indirect ; Source : BATIR l'école 2 notice technique 2 éclairage	23
Figure 30: Paramètres du confort visuel ; Source : BENEDICTE, Collard. Fabrice. Derny., 2011.	24
Figure 31: les critères du confort visuel dans les bureaux ; Source : énergie + www.energieplus-lesite.be.....	24
Figure 32: Niveau d'éclairement lumineux ; Source : tle2d confort visuel monad éducation..	24
Figure 33: Les normes et des recommandations du niveau d'éclairement dans les salles de classe ; Source : locaux scolaires efficacité énergétique et confort visuel.....	25
Figure 34: Les salles de classe ; Source : ARCHITECTURE & Climat, Faculté d'architecture, d'ingénierie architecturale, d'urbanisme (LOCI) (Belgique)	26

Figure 35:Le confort visuel contribue à l'apprentissage des enfants ; Source : ARCHICLASSE.EDUCATION.FR.....	26
Figure 36: la lumière pour apprentissage ; Source : archiclasse.education.fr	27
Figure 37: Les méthodes d'évaluation du confort visuel ; Source : https://energieplus-lesite.be/theories/eclairage12/physique-lumiere/facteur-de-lumiere-du-jour/	27
Figure 38: SPECTRE LUMINEUX VISIBLE ; SOURCE : HTTPS://ENERGIEPLUS-LESITE.BE	28
Figure 39Le diagramme de KRUTHOF ; Source :Suzel Balez, 2007	28
Figure 40 : ariation du pourcentage des personnes satisfaites en fonction de l'éclairement. ; Source : guidebatimentdurable.bruxellesenvironnement.be	28
Figure 41: Classification de la perception des couleurs selon la plage d'IRC ; Source : https://energieplus-lesite.be	28
Figure 42: Les piliers de l'éducation ; Source : l'UNESCO (1996), traité par l'auteur	29
Figure 43: Types de modèles conceptuelle des équipements scolaire ; Source :OCDE, 2010.	31
Figure 44 : types des ECOLES ; Source : JOURNAL national, traité par l'auteur	33
Figure 46: FORMES DES SALLES DE CLASS ; SOURCE : NEUFERT, 10 ^e EDITION ; HOYET, 2010	34
Figure 45 Schéma de FONCTIONNEMENT ; Source :guide de conception des bâtiment éducatifs.....	34
Figure 47: Les exigences spatiales ; Source : NEUFERT, 10 ^e édition ; Hoyet, 2010traitée par l'auteure.....	35
Figure 48 : Les normes des espaces ; Source : NEUFERT, 10 ^e édition ; Hoyet, 2010traitée par l'auteure	35
Figure 50: la pédagogie au cœur de contradiction ; Source : PINTRESTE	36
Figure 49 : LES ACTIVITES DE DECOUVERTES « LE JARDINAGE » ; SOURCE :PINTRESTE....	36
Figure 51 : La participation des enfants de Vietnam dans la planification urbaine basique 06/2018 ; Source :UNCEF. basic-urbain.....	37
Figure 52: LE jeu et ses motivations ; Source : PINTRESTE.....	37
Figure 53: LES ACTIVITES D'EXPRESSION ; SOURCE : PINTRESTE.....	38
Figure 54 : omni présence de la technologie ; Source : PINTRESTE	38
Figure 55: THÉORIE DE L'ÉDUCATION; SOURCE: THÈSE, ARCHITECTURE AS PEDAGOGY_ DESIGNING SUSTAINABLE SCHOOLS AS THREE-.....	39
Figure 56 : LES ESPACES D'APPRENTISSAGE ; SOURCE : THÈSE, ARCHITECTURE AS PEDAGOGY_ DESIGNING SUSTAINABLE SCHOOLS AS THREE-.....	40
Figure 57 : UN ESPACE D'APPRENTISSAGE ; SOURCE : PINTREST	40
Figure 58 : VUE sur l'ETAGE PRESENTE DES CONCEPTIONS PROTOTYPES POUR DEUX ESPACES D'ENSEIGNEMENT ; SOURCE : AMA ALEXI MARMOT ASSOCIATES.....	40
Figure 59:PLAN D'ETAGE PRESENTE DES CONCEPTIONS PROTOTYPES POUR DEUX ESPACES D'ENSEIGNEMENT ; SOURCE : AMA ALEXI MARMOT ASSOCIATES.....	41
Figure 60:plan d'étage présente des conceptions prototypes pour deux espaces d'enseignement ; Source :space planning basics.....	41
Figure 61 : SITUATION DE BOUFARIK EN ALGERIE, BLIDA. Source : Google image	46
Figure 62 : Carte de l'accessibilité de Boufarik. Source : Pos traitée par auteure	47
Figure 65 : schéma de noyaux colonial ; SOURCE : PDAU de Boufarik.....	48
Figure 63 : carte de la ville Boufarik avant 1830 ; SOURCE : rapport de PDAU	48
Figure 64 : CARTE DE LA VILLE BOUFARIK AVANT 1830 ; SOURCE : rapport de PDAU	48
Figure 66 : carte de la ville Boufarik 1926 ; source : PDAU de boufarik, traité par l'auteur	48
Figure 67 : : carte de la ville Boufarik 1945 ; source: PDAU de boufarik, traité par l'auteur	48
Figure 68 : carte de Boufarik 2025 ; source : PDAU de boufarik, traité par l'auteur	48
Figure 69 : carte de synthèse de croissance; SOURCE : PDAU de Boufarik.....	49
Figure 70 : CARTE DE SYSTEME VIAIRE A BOUFARIK ; SOURCE : PDAU DE BOUFARIK, TRAITE PAR L'AUTEUR.....	50
Figure 71 :Coupe sur une voie secondaire ; source : traité par l'auteur	50
Figure 72 :COUPE SUR LA PLACE DU L'EGLISE ; SOURCE : TRAITE PAR L'AUTEUR.....	50
Figure 73 : carte de système parcellaire à Boufarik ; source : pdau de Boufarik, traité par	

l'auteur.....	51
Figure 74 : CARTE DE SYSTEME BATI A BOUFARIK ; SOURCE : PDAU DE BOUFARIK, TRAITE PAR L'AUTEUR.....	51
Figure 75 : carte de système non bâti à Boufarik ; source : pdau de Boufarik, traité par l'auteur	52
Figure 76 : CARTE DE LA VILLE BOUFARIK ; SOURCE : PDAU DE BOUFARIK.....	53
Figure 77 : carte de la ville Boufarik ; source : googleearth.....	53
Figure 78 : carte de terrain d'intervention ; source : pos n1	53
Figure 79 : CARTE DE STRUCTURE VIAIRE AUTOUR DE SITE ; SOURCE : OPENSTREETMAP TRAITEE PAR AUTEURE.....	53
Figure 80 : CARTE DE STRUCTURE FONCTIONNELLE AUTOUR DE SITE ; SOURCE : OPENSTREETMAP TRAITEE PAR AUTEURE.....	54
Figure 82 : CARTE DE SYSTEME PARCELLAIRE AUTOUR DE SITE ; SOURCE : OPENSTREETMAP TRAITEE PAR AUTEURE.....	54
Figure 81 84 : CARTE DE SYSTEME NON BATI AUTOUR DE SITE ; SOURCE : OPENSTREETMAP TRAITEE PAR AUTEURE.....	54
Figure 83 : schéma de Swot de la ville Boufarik; source : traitée par l'auteur	55
Figure 84 : SCHEMA REPRESENT LE CRITIQUE DU POS UTILISANT L'ANALYSE SYNCHRONIQUE SOURCE : TRAITEE PAR L'AUTEUR.....	55
Figure 85 : schéma représente les recommandations et principes d'aménagement urbain; source: traitée par l'auteur	56
Figure 86 : SCHEMA de principes urbain ; source: traitée par l'auteur	56
Figure 87 : schéma de l'aménagement urbain d'éco quartier ; source: traitée par l'auteur	57
Figure 88 : EVALUATION des températures A BOUFARIK ; SOURCE : METEOMORN 8.....	58
Figure 89 : DUREE D'ENSOLEILLEMENT A BOUFARIK ; SOURCE : METEOMORN 8.....	58
Figure 90 : Rose des vents hivernale de la ville de Boufarik ; Source : Climat Consultant.....	58
Figure 91 : ROSE DES VENTS ESTIVALE DE LA VILLE DE BOUFARIK ; SOURCE : CLIMAT CONSULTANT.....	58
Figure 92 : Evaluations des précipitations à Boufarik ; Source : Meteomorn 8	58
Figure 93 : DIAGRAMME DE GIVONI ; SOURCE : METEOMORN 8	58
Figure 94 : CARTE DE CONTRAINTE CLIMATIQUE DU SITE , SOURCE: TRAITE PAR L'AUTEUR	59
Figure 95 : CARTE D'OMBRAJE DU SITE, SOURCE : SKETCHUP	59
Figure 96 : schéma de synthèse climatique du site ; source : traitée par l'auteur	60
Figure 97: schéma représente la mobilité douce dans l'éco quartier ; source : traitée par l'auteur	61
Figure 98 Carte de végétation ; Source : Google Earth traitée par auteur	62
Figure 99 : DEFERENTS VEGETATIONS SUR SITE ; SOURCE : AUTEURE	62
Figure 100: tri sélectif ; Source : vectorstock.com/28207421	63
Figure 101 : LE OINT DE COLLECTE ; SOURCE : PINTREST	63
Figure 102: composteur individuel; source: pintrest.....	63
Figure 103: composteur collectif; source: pintrest.....	63
Figure 107 : Revêtements perméables ; source: pintrest.....	64
Figure 104 :pavés drainant ; Source : pintrest.....	64
Figure 105 jardin de pluie ; Source : pintrest.....	64
Figure 106 : toiture végétalisées, ilot 4b à nantes ; Source : pintrest.....	64
Figure 108 : plan d'aménagement de l'éco quartier; source: traitée par l'auteur	68
Figure 109 : la place public ; source: l'auteur	70
Figure 112 : schéma représente l'organisation spéciale du entité pédagogique; source: traitée par l'auteur.....	71
Figure 110: ORGANIGRAMME FONCTIONNELLE DETAILLE ; SOURCE : TRAITE PAR L'AUTEUR.....	71
Figure 111 : organigramme fonctionnelle global ; Source : traité par l'auteur	71
Figure 113 : schéma représente l'organisation spatiale du projet ; SOURCE : TRAITE PAR	

L'AUTEUR.....	72
Figure 114 : schéma représente les concepts liés au site; source: traitée par l'auteur	72
Figure 115 : Ecole Yamamotochou Fuji KINDERGARTEN, SOURCE: https://japanization.org/	73
Figure 116 : Le Learning Center de l'EPFL (Sanaa, Lausanne) source : http://www.bubblemania.fr/	73
Figure 117 : Orestad College, Copenhagen, Denmark; SOURCE: https://www.imago-images.com/st/0079425379	74
Figure 118 L'école de la Sainte-Famille (France, Nomade Architectes) source : LinkedIn	74
Figure 120 : schéma représente l'orientation de projet; source: traitée par l'auteur	75
Figure 119 : School center Lucie Aubrac France source : Archdaily	75
Figure 121 : schéma représente le zonage thermique dans le projet; source: traitée par l'auteur.....	76
Figure 122 : les principes de la ventilation naturelle; source: traitée par l'auteur	77
Figure 123 : schéma représente les vents dominants dans le projet; source : traitée par l'auteur.....	77
Figure 124 : dimensions des brises soleil horizontal source: auteur.....	78
Figure 125 : les brises solaires en façade; source: école élémentaire, espace André Malraux à Bondoufle.....	78
Figure 126 : pergolas pronemade ombragé jardin; source : https://pixabay.com/fr/photos/pergola-promenade-ombragée-94560/	78
Figure 127 : pergolas végétalisées; source : https://gardenistas.eu/toode/paikesevari-5x5m/	78
Figure 128 : Brise-soleil bois orientable en façade; source : https://www.brickaward	79
Figure 129 : Large vitrage double sur véranda ; source : Présenté dans un article comparatif sur double vitrage.....	79
Figure 130 : Longlights au-dessus d'un escalier d'école primaire; source: VELUX Commercial, nouveau bâtiment scolaire à Dresde.....	79
Figure 131 : Northlights modulaires dans un lycée rénové; source : VELUX Commercial, rénovation d'un lycée en Suède	79
Figure 132 : ENERGIE RENOUVELABLE PAR LES PANNEAUX SOLAIRE ; SOURCE : TRAITE PAR L'AUTEUR.....	80
Figure 133 : EMLACEMENT DES PANNEAUX SOLAIRE DANS ENSEMBLE DE PROJET ; SOURCE : TRAITE PAR L'AUTEUR.....	80
Figure 134 : LE béton; source: https://www.betonexpert.fr	81
Figure 136 : le bois ; source: https://www.cotemaison.fr	81
Figure 135 : béton cellulaire; source: https://www.forumconstruire.com	81
Figure 137 : double vitrage; source: https://www.on-renove.fr/fenetres-double-vitrage/	81
Figure 138 : LES étapes d'implantation de l'école primaire; source : auteur	82
Figure 139 : développement d'entité pédagogique; source: auteur	83
Figure 141 : administration et cantine, source: auteur	84
Figure 140 : Atelier d'apprentissage intérieur; source: auteur	84
Figure 142 : Apprentissage extérieur, source: auteur	85
Figure 143 : façade principale nord de bloc pédagogique, source : auteure	86
Figure 144 : plan de structure d'entité pédagogique; source: auteur	87
Figure 145 : schéma de fonctionnalité de design-builder, Source : https://www.batisim.net	91
Figure 146 : processus d'utilisation de métronome pour le fichier EPW.....	92
Figure 147 : Méthode et processus de simulation, Source : Cour de Mme Kassa traitée par auteure.....	93
Figure 148 : l'emplacement de cas d'étude dans le plan, Source : auteure	93
Figure 149 : Modélisation 3D cas d'étude dans Design-builder, Source : auteure	93
Figure 150 : POS N °01 ; source: rapport de PDAU de Boufarik.....	111
Figure 151 : consommation énergétique dans design builder; source: auteur	114
Figure 152 : CONSOMMATION ENERGETIQUE dans DESIGN BUILDER; SOURCE: AUTEUR	114

Figure 153 : éclairage artificiel dans la salle de classe avec DIA lux; source: auteur	115
Figure 154 : ECLAIRAGE ARTIFICIEL DANS LA SALLE DE CLASSE AVEC DIA LUX; SOURCE: AUTEUR.....	116

Thématique de l'Atelier : Architecture, Environnement et Technologies

L'atelier **Architecture, Environnement et Technologies** en Master 2 vise principalement à former des architectes capables de répondre aux défis contemporains dans le domaine de la construction et de l'aménagement urbain, tout en tenant compte des enjeux environnementaux, énergétiques et technologiques. Il se doit d'accompagner la transition sociétale que nous vivons aujourd'hui.

Les évolutions des moyens techniques, des outils de communication, des connaissances, ainsi que l'émergence de nouveaux besoins socioéconomiques impliquent l'évolution de la pratique et des missions de l'architecte. Dans un contexte de transition énergétique mondiale et d'urbanisation croissante, il est essentiel que les futurs architectes intègrent des solutions durables, respectueuses de l'environnement et adaptées aux réalités locales.

Le but pédagogique du programme d'atelier en M2 est d'intégrer la théorie environnementale/ la pratique avec la réflexion / la technologie dans tous les projets de conception. Ce programme puise largement dans l'étude des besoins des sociétés locales et applique une approche qui intègre les systèmes de construction adaptés aux conditions climatiques de l'Algérie. Ainsi, garantir le confort dans les projets communautaires, la conception soucieuse des changements climatiques et la possibilité d'élargir les compétences en matière de technologies numériques et de performance énergétique des bâtiments afin d'atteindre l'efficacité énergétique sont trois domaines d'études clefs au travail de Master 2.

Objectifs de l'Atelier

L'atelier vise à :

- Former des architectes capables de concevoir des projets **innovants, durables et adaptés** aux réalités algériennes.
- Sensibiliser aux **enjeux environnementaux** dans le secteur de l'habitat.
- Intégrer les **technologies numériques** et les compétences en matière de **stratégies bioclimatiques et de performances énergétiques** dans la conception architecturale.
- Répondre aux besoins spécifiques des projets d'habitat en Algérie, en offrant des solutions pour améliorer le confort thermique et l'efficacité énergétique en architecture.

Équipe pédagogique :

Mme KHELIFI.L/ Mr Bouadi.M/ Melle Kassa.S



CHAPITRE 1

Introduction générale



I. Introduction

Le changement climatique, officiellement documenté par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) depuis 1990, constitue un défi systémique majeur dont l'impact compromet l'équilibre écologique et socio-économique global (Jean-Jacques Terrin, 2014). Il se manifeste par des phénomènes extrêmes comme les vagues de chaleur et les sécheresses. Ces événements rendent les écosystèmes urbains et leurs habitants plus vulnérables. Résoudre cette problématique multidimensionnelle demande une transformation profonde des pratiques urbaines et un engagement citoyen structuré.

Le secteur du bâtiment représente 43% de la consommation énergétique finale (Bilan national énergétique 2015, P.20). Ce pourcentage révèle le potentiel considérable d'optimisation énergétique dans l'environnement bâti contemporain, plaçant le bâtiment au cœur des stratégies de transition écologique.

Ainsi, le développement durable cherche à élaborer de nouvelles formes d'aménagement du territoire qualifiées de « durables », dans lesquelles s'inscrit l'éco-quartier. En effet, suite à une prise de conscience des enjeux environnementaux, la planification et l'aménagement urbain commencent à évoluer. De nouveaux éco-quartiers émergent comme un modèle innovant pour concevoir la ville, offrant ainsi un mode de vie plus respectueux de l'environnement et des besoins sociaux.

Sur ce plan, l'Algérie a lancé quelques démarches remarquables dans la conception durable. On peut citer le projet pilote de réalisation d'un logement rural avec efficacité énergétique, récompensé par le prix Global Energy Award décerné par l'UNESCO en 2009, ou la création de nouvelles villes durables comme Bougezoul ou Bouinan. Néanmoins, ces initiatives restent insuffisantes comparées à d'autres pays comme la Finlande, classée première selon l'indice « Environmental Sustainability Index » (ESI) en termes de mixité fonctionnelle et sociale, d'efficacité énergétique et de préservation de la biodiversité. (Algérie Energie n°03du30avril2015 BAT.indd)

Actuellement, notre pays fait face à une problématique complexe d'urbanisation, caractérisée par une architecture décontextualisée et des développements urbains précipités, privilégiant la fonction résidentielle au détriment des infrastructures communautaires et de la mixité fonctionnelle. Les équipements publics, véritables catalyseurs de la dynamique urbaine, jouent pourtant un rôle fondamental dans la structuration de l'espace collectif et l'identité citadine.

Dans ce contexte, l'infrastructure éducative revêt une importance particulière. Au-delà de sa fonction éducative primaire, elle constitue un vecteur essentiel de développement social et communautaire. Cependant, depuis l'indépendance, la pression démographique

conjuguée à la démocratisation de l'enseignement a conduit à une standardisation des constructions scolaires, privilégiant l'efficacité constructive au détriment de l'adaptation climatique et environnementale.

Notre projet de fin d'études aborde cette problématique en développant une réflexion approfondie sur la conception d'espaces d'apprentissage innovants et de leurs qualité environnementale et performances énergétiques. Nous visons à concevoir un modèle d'environnement d'apprentissage qui harmonise efficacité environnementale, qualité architecturale des espaces et bien-être des utilisateurs, tout en intégrant pleinement la dimension sociale.

II. Problématique générale :

En Algérie, la crise du logement a engendré une urbanisation rapide et souvent désordonnée, caractérisée par l'émergence de nombreuses cités nouvelles, peu ou pas intégrées à leur environnement. Ces développements urbains, centrés sur la production massive de logements, ont négligé les aspects sociaux, environnementaux et fonctionnels, induisant des quartiers souvent dépourvus d'équipements et de services de proximité.

Dans notre étude, nous nous interrogeons sur les modalités de conception d'un projet d'éco quartier pour l'extension de la ville de Boufarik en favorisant l'intégration urbaine et en réduisant l'empreinte écologique du projet.

De ce fait, nous nous posons la question suivante :

«Comment concevoir un quartier durable tout en préservant son patrimoine bâti et ses spécificités environnementales ? »

III.Problématique spécifique :

En Algérie, les établissements scolaires restent majoritairement ancrés dans des méthodes d'enseignement formelles (traditionnelles), peinant à intégrer des approches pédagogiques innovantes adaptées aux exigences contemporaines. Cette inertie se traduit également dans la conception des espaces éducatifs, où l'attention portée au confort des usagers et à la qualité de l'environnement intérieur demeure insuffisante. Les infrastructures existantes souffrent d'une sous-exploitation de la lumière naturelle et d'un recours à des systèmes d'éclairage artificiels dépassés, dégradant ainsi le confort visuel des élèves et du personnel enseignant. Par ailleurs, la mauvaise gestion énergétique de ces bâtiments génère non seulement des coûts économiques considérables, mais contribue aussi à une empreinte écologique préoccupante. Dans ce contexte, il devient indispensable de repenser la conception des établissements scolaires en intégrant des solutions durables favorisant à la fois l'efficacité énergétique et un environnement d'apprentissage sain et stimulant.

«Comment repenser les établissements scolaires à Algérie pour favoriser l'innovation pédagogique tout en améliorant la qualité de l'environnement intérieur et le bien-être des usagers ? »

«Comment optimiser le confort visuel et mettre en œuvre des stratégies de gestion énergétique durables pour améliorer les conditions d'apprentissage tout en réduisant l'empreinte écologique des établissements scolaires ?»

IV. Les hypothèses :

Afin de répondre au questionnement posé, nous avons pris en considération les hypothèses suivantes :

- La réalisation d'un éco-quartier représenterait une solution intégrale aux défis environnementaux, sociaux et patrimoniaux, favorisant un parfait équilibre entre conservation historique et croissance durable.
- L'optimisation du confort visuel combinée à une gestion énergétique efficiente dans les établissements scolaires permettrait de réduire significativement la consommation d'énergie tout en améliorant les conditions d'apprentissage.

V. Objectifs de la recherche :

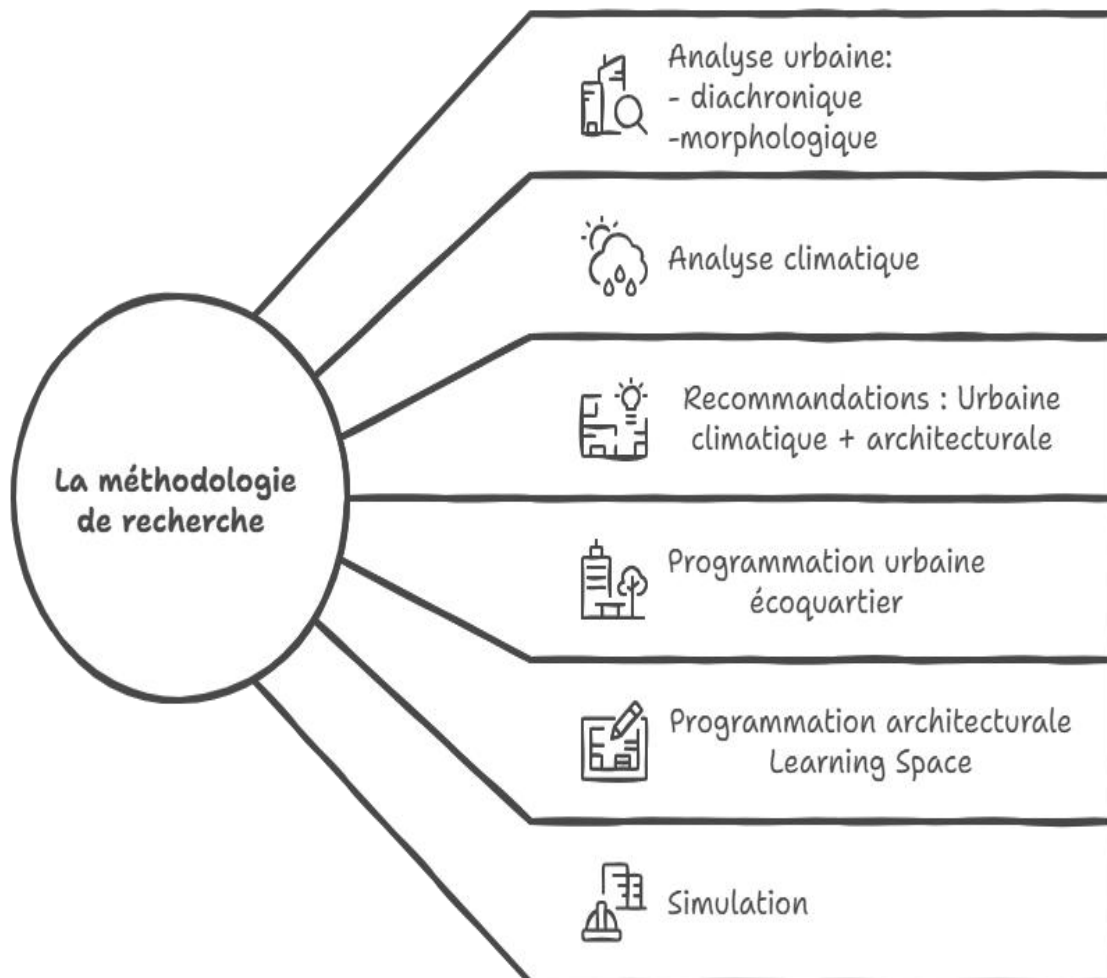
Ce mémoire vise à atteindre les objectifs suivants :

- Comprendre comment un éco quartier pourrait répondre aux exigences urbaines de Boufarik tout en réduisant au minimum son empreinte écologique
- Identifier comment des espaces d'apprentissage intégrés à l'éco quartier peuvent renforcer la cohésion sociale et éduquer les élèves sur les pratiques écologiques, notamment par le biais de programmes de sensibilisation et d'activités communautaires.
- Concevoir un projet à faible consommation énergétique.
- Concevoir un aménagement durable afin de contribuer à la préservation de l'environnement naturel.
- Améliorer les performances des espaces pédagogiques.

VI.Méthodologie de recherche :

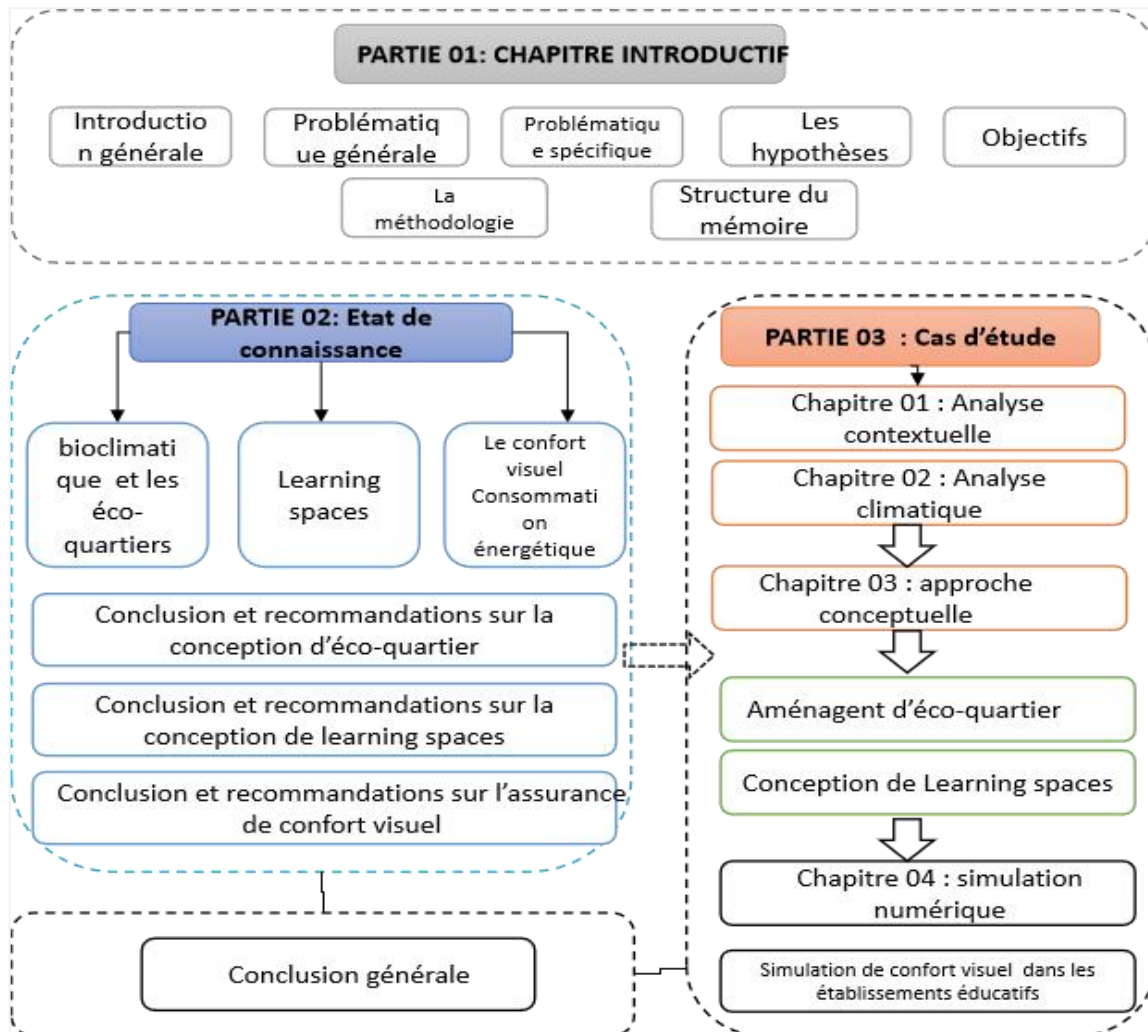
Dans le but de répondre à la problématique et d'atteindre les objectifs de notre recherche, nous avons adopté une méthodologie structurée en plusieurs étapes, comme montré dans le schéma suivant :

1. Recherche thématique : une recherche approfondie a été menée autour de la problématique, en mobilisant des sources scientifique, des références théorique.
2. Analyse urbaine diachronique et morphologique : Nous nous sommes appuyés sur la méthode des quatre systèmes, fondée sur l'approche de Daniel Hiernaux et Paul Claval.
3. Analyse climatique et recommandations urbaines liées à la climatisation : Cette analyse a été réalisée à partir de visites de terrain et de l'élaboration de stratégies issues du logiciel Climat Consultant.
4. Simulation : Une Simulation Thermique Dynamique (STD) a été effectuée à l'aide du logiciel DesignBuilder.



VII. Structure de mémoire :

Nous avons structuré notre recherche dans ce mémoire suivant 3 grands parties, que nous allons schématiser la dessous :





CHAPITRE 2

État de connaissance



I. Introduction :

Ce chapitre présente un état de connaissance des principaux concepts liés à l'architecture environnementale et à la thématique des établissements éducatifs. La première partie définit les notions de développement durable et d'architecture bioclimatique, en analysant leurs principes, leurs objectifs et leur influence sur les pratiques architecturales actuelles. La seconde partie traite des espaces éducatifs, plus particulièrement des "Learning Spaces" dans le contexte des écoles primaires, en s'appuyant sur des études de cas représentatives. Ces références offrent ainsi des bases solides pour guider la phase de conception du projet architectural.

II. Le développement durable

II.1 Définition de développement durable :

Le développement durable doit lier la croissance économique et sociale humaine à la protection de l'environnement. L'environnement fait référence à tous les éléments qui composent la terre : l'air, l'eau, les forêts, les animaux et les plantes, Le développement durable a été défini en 1987 comme « Un développement qui répond aux besoins des générations présentes sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs » (Rapport de Brundtland, Premier ministre norvégien).

Le développement durable est un développement qui s'efforce de répondre aux besoins actuels sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs besoins.

(Rapport Brundtland, ONU 1987)

II.2 Les objectifs du développement durable :

Le développement durable s'articule autour de trois objectifs fondamentaux :

- L'intégrité écologique (Protection de l'environnement et l'amélioration du cadre de vie)
- L'équité entre les nations, les individus et les générations.
- L'efficacité économique susceptible de modifier les modes de production et de consommation

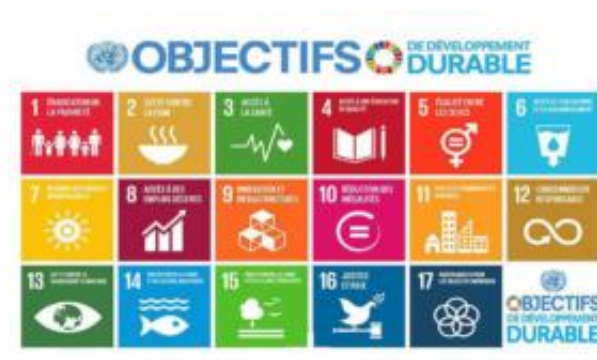


FIGURE 1 INDICATEURS DES OBJECTIFS DE DÉVELOPPEMENT DURABLE ;
SOURCE : LABO.SOCIETENUMERIQUE.GOUV.FR

II.3 Aperçu Historique du développement durable :

Plusieurs dates clés sont connues pour le concept de développement durable, qui peuvent être résumées dans la figure ci-dessous :

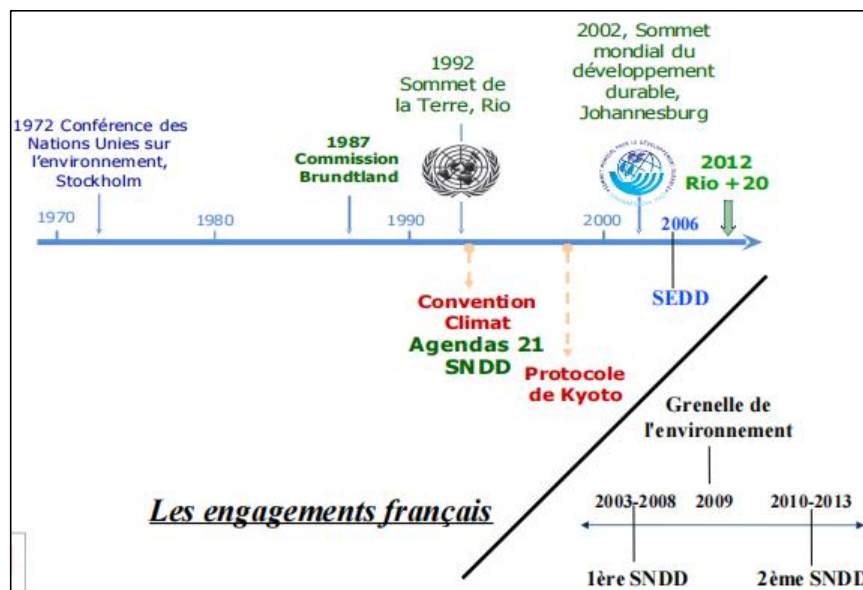


FIGURE 2 : HISTORIQUE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE; SOURCE :

II.4 Le Développement Durable en Algérie :

L'Algérie est actuellement portée par un modèle de développement basé principalement sur des richesses naturelles limitées, très polluantes sur le plan écologique. Le pays n'a pas encore réussi à formuler une stratégie de développement fiable, Selon l'analyse des scores de réalisation des ODD « Objectifs de développement durable » parmi 70 indicateurs jugés fiables et comparables, l'Algérie se classe 53e sur 162 pays dans le monde. Les analystes affirment qu'aucun pays au monde ne peut atteindre les 17 objectifs fixés pour 2030. (Arezki B. 2017)

II.5 En résumé le développement durable :

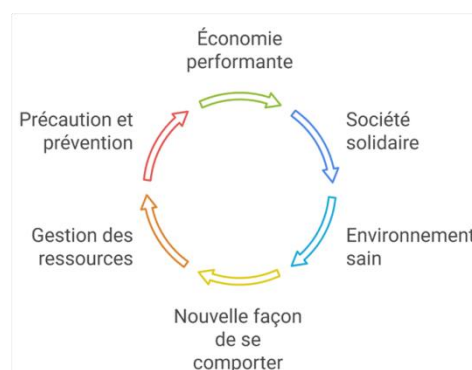


FIGURE 3 : CIRCUIT DU DÉVELOPPEMENT DURABLE; SOURCE : TRAITÉE PAR L'AUTEUR

III. La conception bioclimatique :

III.1 Echelle urbaine : ECO-QUARTIER

a. Définition :

Un éco quartier est un projet d'aménagement urbain visant à intégrer des objectifs de développement durable et réduire son empreinte écologique tout en améliorant la qualité de vie de ses habitants. De ce fait, il insiste sur la prise en compte de l'ensemble des enjeux environnementaux en leur attribuant des niveaux d'exigence ambitieux. (Quartier seine et Marne 2009).



FIGURE 4 : SCHEMA D'UN ECOQUARTIER ; SOURCE : PLANET-ENERGIE 2024

b. Les objectifs d'un éco-quartier :

Tous les éco-quartiers prennent en compte l'ensemble des objectifs environnementaux avec des niveaux d'exigence importants, représentés dans le schéma ci-dessus :

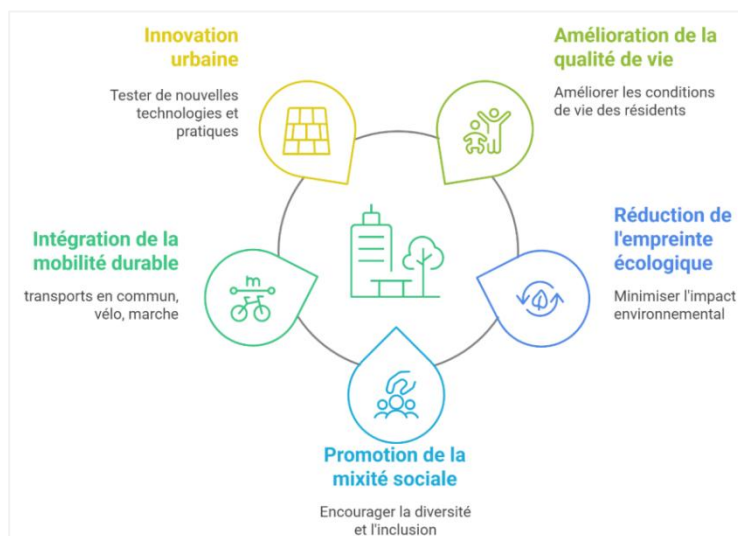


FIGURE 5 : SCHEMA DES OBJECTIFS D'ECOQUARTIER ; SOURCE : TEXTE DE GEOCONFLUENCES.ENS-LYON.FR/GLOSSAIRE/ECO QUARTIER + TRAITE PAR L'AUTEUR

c. Les enjeux d'un éco quartier :

➤ Enjeux environnementale :

Gestion de l'énergie : Réduire la consommation énergétique et favoriser l'utilisation d'énergies renouvelables en intégrant des technologies vertes et en concevant des bâtiments à haute performance énergétique.

Mobilité douce : Promouvoir des modes de déplacement durables comme la marche, le vélo et les transports en commun, en aménageant des infrastructures adaptées pour diminuer l'utilisation de la voiture individuelle.

Gestion des eaux pluviales : Mettre en place des systèmes efficaces pour la collecte, le traitement et la réutilisation des eaux de pluie, afin de prévenir les inondations et préserver les ressources en eau.

Gestion des déchets : Encourager le tri sélectif, le recyclage et la réduction à la source des déchets, en sensibilisant les habitants et en fournissant des équipements appropriés.

Biodiversité : Préserver et enrichir la faune et la flore locales en intégrant des espaces verts, des toitures végétalisées et des corridors écologiques, contribuant ainsi à un environnement sain et agréable. (Eco-quartier-définition-objectifs)

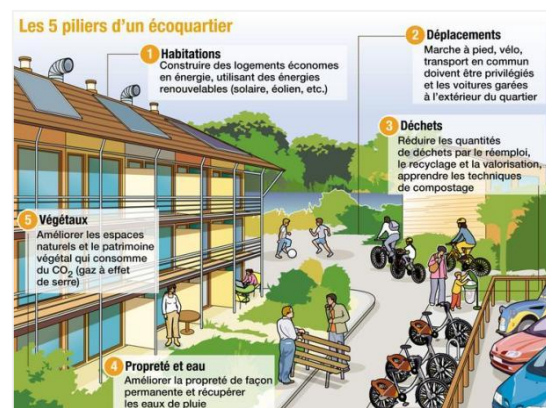


FIGURE 6 : LES 5 PILLIERS D'UN ÉCO QUARTIER ; SOURCE :STUDOCU.COM

FIGURE 7 : UN MEILLEUR CADRE DE VIE ; SOURCE : FR.LINKEDIN.COM

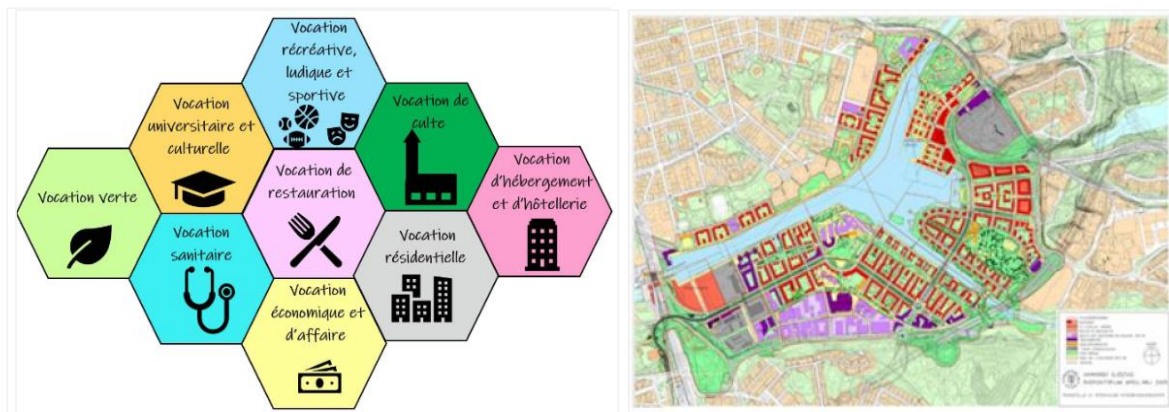
➤ Enjeux sociaux :

Mixité sociale : Assurer une diversité de populations en proposant une gamme variée de logements accessibles à différentes catégories socio-économiques, favorisant ainsi l'inclusion et la cohésion sociale.

La participation du citoyen au cœur du processus : La participation du citoyen au projet ne peut que mieux lui faire comprendre les enjeux et entraîner une plus forte adhésion de sa part, les habitants deviennent ainsi concepteurs de leur espace de vie du moins en partie. Cette participation peut se traduire de différentes façons : enquête publique, débat public, conseils de quartier etc.

➤ Enjeux économiques :

Mixité fonctionnelle : Combiner divers usages tels que l'habitat, les commerces, les services et les espaces de loisirs pour créer un environnement dynamique et réduire la nécessité de déplacements motorisés.



**FIGURE 8 : PLANIFIER LA MIXITE FONCTIONNELLE DANS UN ECOQUARTIER DENSE ;
SOURCE : ECOQUARTIER HAMMARBY SJIOSRAD STOCKHOLM**

d. Comment planifier et aménager un éco-quartier ?

La planification et l'aménagement d'un éco-quartier dans une ville nécessitent une approche intégrée et proactive, elle est représentée dans la figure 9.

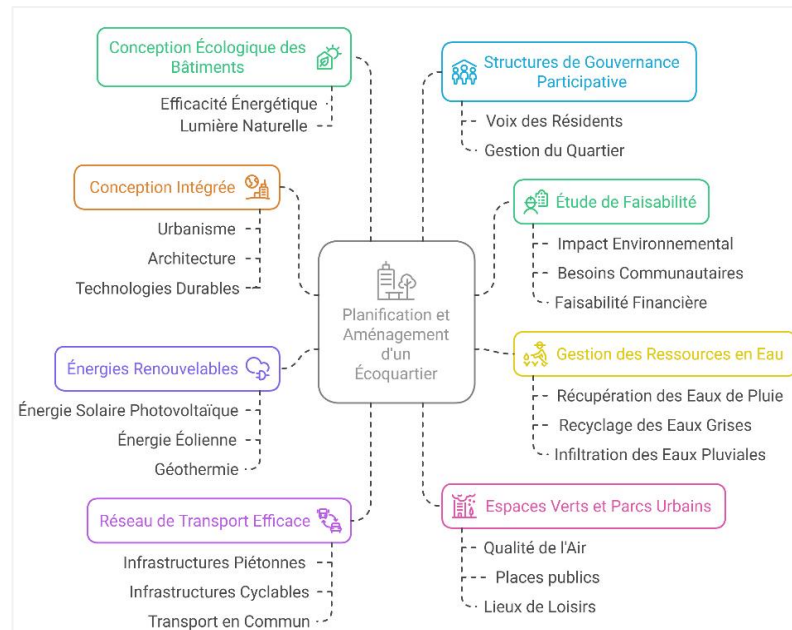


FIGURE 9: PLANIFIER ET AMÉNAGEMENT D'UN ÉCO QUARTIER DENSE ;
SOURCE : [HTTPS://WWW.ESI-BUSINESS-SCHOOL.COM](https://www.esi-business-school.com)

III.2 Architecture bioclimatique « Stratégies et Principes » :

« La conception bioclimatique s'inscrit dans la problématique contemporaine liée à l'aménagement harmonieux du territoire et à la préservation des milieux naturels .Cette démarche partie prenante du développement durable, optimise le confort des habitants, réduit les risques pour leur santé et minimise l'impact du bâti sur l'environnement » (Alain lié bard et André de Herder, 2006)

Le style bioclimatique est un courant de l'architecture contemporaine qui utilise le climat et les caractéristiques naturelles du site pour concevoir des bâtiments confortables, écologiques et économiques (en matière de chauffage, d'éclairage et de climatisation), et considère l'environnement comme une source potentielle de confort. Son objectif est d'obtenir des conditions de vie agréables pour les occupants, de la manière la plus naturelle et la plus respectueuse possible. (Guillaume Fischer, 2020).

a. Objectifs de l'architecture bioclimatique :

L'architecture bioclimatique vise à concevoir des bâtiments qui s'harmonisent avec leur environnement tout en optimisant l'efficacité énergétique et en minimisant l'impact écologique. Les principaux objectifs de cette approche sont les suivants :

- Assurer que le bâtiment s'intègre bien dans son environnement.
- Utiliser l'énergie de manière efficace et minimiser l'impact sur les ressources naturelles tout en réduisant les pollutions.
- Protéger la santé des occupants en limitant les risques.

- Maintenir des conditions de température agréables et contrôler l'humidité, maximisée de vie des utilisateurs.
- Afin d'arriver à ces objectifs, plusieurs paramètres et outils sont mise en place qui vont tenir compte soit de l'enveloppe de la conception, le choix des équipements techniques, les matériaux, l'orientation des bâtiments et des systèmes solaires (PV, pompe à chaleur...).

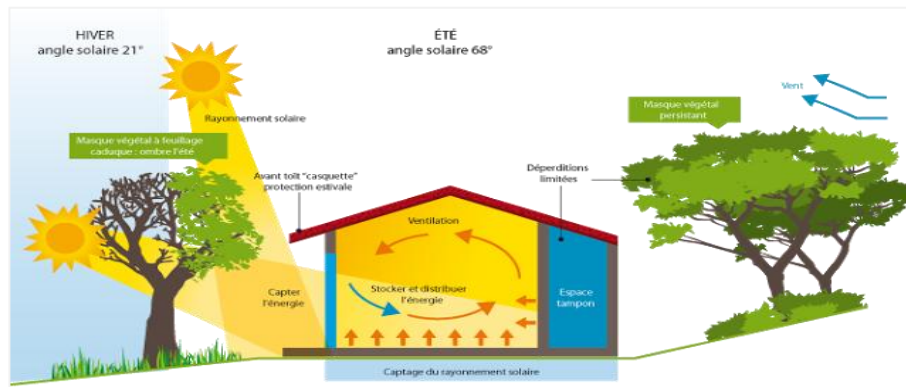


FIGURE 10 : PRINCIPES DE BASE D'UNE CONCEPTION BIOCLIMATIQUE ; SOURCE : ÉTUDE RT2012

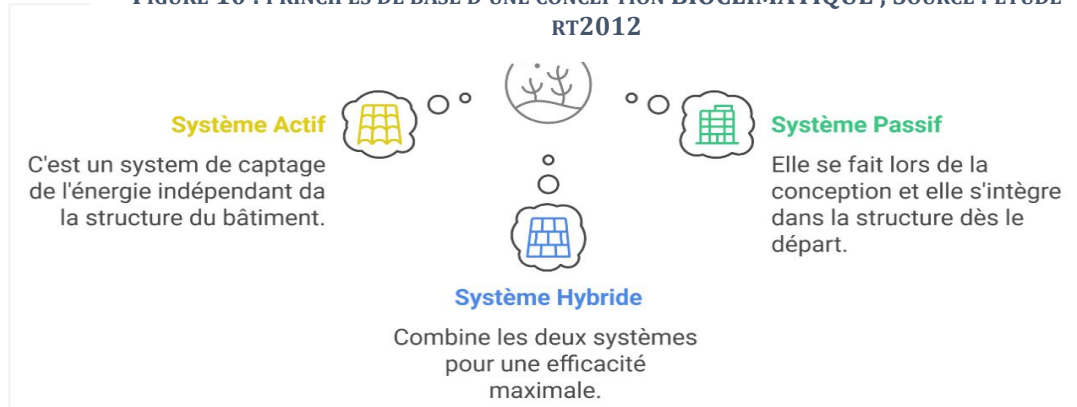


FIGURE 11 : LES TYPES DE L'ARCHITECTURE BIOCLIMATIQUE ; SOURCE: TRAITÉ PAR L'AUTEUR

b. Les paramètres de l'architecture bioclimatique passive :

Il existe deux paramètres qui affectent la qualité d'une conception bioclimatique, sont les paramètres environnementaux et architecturaux.

- Les paramètres environnementaux :

❖ Orientation du bâtiment

- Exposition Nord : C'est la partie du bâtiment la moins exposée au soleil et la plus froide. Il est important de bien isoler les espaces situés au Nord, afin de réduire les déperditions thermiques.
- Exposition Ouest : L'ensoleillement est plus intense l'après-midi jusqu'au coucher du soleil.
- Exposition Est : Les espaces bénéficient d'un ensoleillement le matin, et deviennent fraîches en fin de journée.

- Exposition Sud : C'est la partie la plus adaptée à l'ensoleillement pour profiter d'une luminosité accrue et de la chaleur. Les rayons solaires pénètrent à l'intérieur à travers les surfaces vitrées, permettant de fournir un chauffage naturel. (ADEME, 2008)

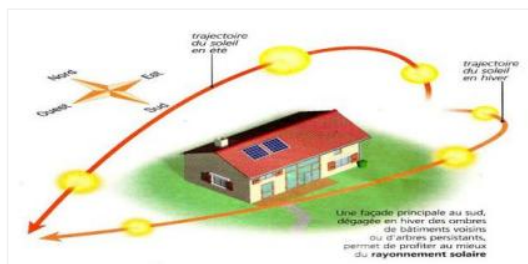


FIGURE 12 : ORIENTATION D'UN BATIMENT ; SOURCE : SLIDEPLAYER.FR

❖ Prospect

C'est la distance minimale autorisée par les règlements d'urbanisme et de voirie entre les bâtiments, calculée pour un éclairage naturel satisfaisant.

Le calcul du prospect est donné par l'équation suivante :

$$P = H_m / L_m$$

H_m : Hauteur moyenne de l'espace.

L_m : La plus petite largeur de l'espace

Plus le prospect est grand, plus le bâtiment bénéficie d'un bon ensoleillement pendant la journée.

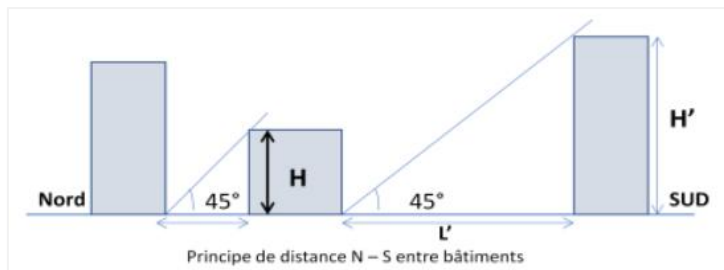


FIGURE 13 : PRINCIPE DE DISTANCE N-S ENTRE BATIMENTS ; SOURCE : COUR DE BOUKARTA 2025

❖ Albédo :

L'albédo, terme issu du latin signifiant "blancheur", désigne le rapport entre le rayonnement solaire réfléchi par une surface et le rayonnement qu'elle reçoit, indépendamment de sa surface effective. Dans le domaine de la recherche solaire, cet indicateur permet d'évaluer la capacité d'une surface à réfléchir le rayonnement solaire, généralement exprimée en

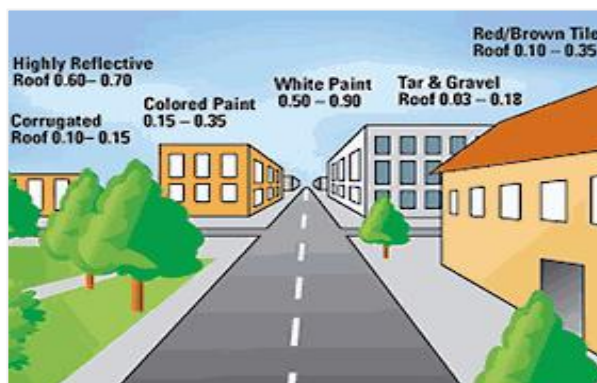


FIGURE 14: EFFET DE L'ALBEDO ; SOURCE : ENERGYEDUCATION.CA

pourcentage

Selon les travaux de BENLATRECHE T. (2005/2006), les surfaces peintes en blanc peuvent réfléchir environ 70 à 75 % du rayonnement solaire, tandis que les surfaces foncées en absorbent jusqu'à 90 %. Ainsi, il est recommandé d'opter pour des teintes claires pour l'enveloppe des bâtiments afin de limiter les apports solaires. Cette stratégie contribue à réduire les besoins en climatisation, en particulier durant l'été, période où l'intensité du rayonnement solaire est la plus élevée.

❖ La végétation :

La végétation a une grande importance pour diminuer la consommation d'énergie d'un bâtiment, tout en contribuant à son rafraîchissement extérieur. Selon (Lezrag Lina, 2017),

La végétation a pour effet de :

- Absorber des rayonnements solaires.
- Rafraîchir le sol extérieur.
- Réduire la turbulence des vents au niveau des piétons.
- Agir comme un filtre contre la pollution de l'air.
- Eviter l'augmentation de la température de l'air.
- Réduire l'effet des îlots de chaleur urbains.

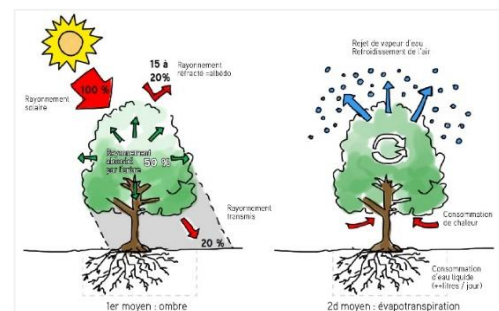


FIGURE 15 : PRÉSENTATION DE L'EFFET DE LA VÉGÉTATION; SOURCE : ILOTS DE CHALEUR 5LEVIERS POUR RAFRAÎCHIR LA VILLE 17 MAI 2023

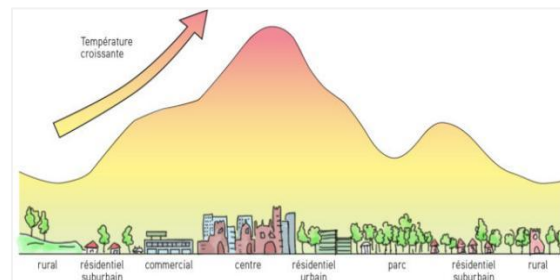


FIGURE 16 : SCHEMA REPRESENTANT LE PRINCIPE D'ÎLOT DE CHALEUR URBAIN ; SOURCE : ILOTS DE CHALEUR 5LEVIERS POUR RAFRAÎCHIR LA VILLE 17 MAI 2023

Effectivement, les bénéfices de la végétation mentionnés sont le résultat de divers processus, à savoir : l'impact indirect de l'ombre, l'évapotranspiration des végétaux et la réduction des variations thermiques au sol.

Schéma suivant représente les recherches des chercheurs sur l'effet de la végétation sur le bâtiment et l'environnement urbain :

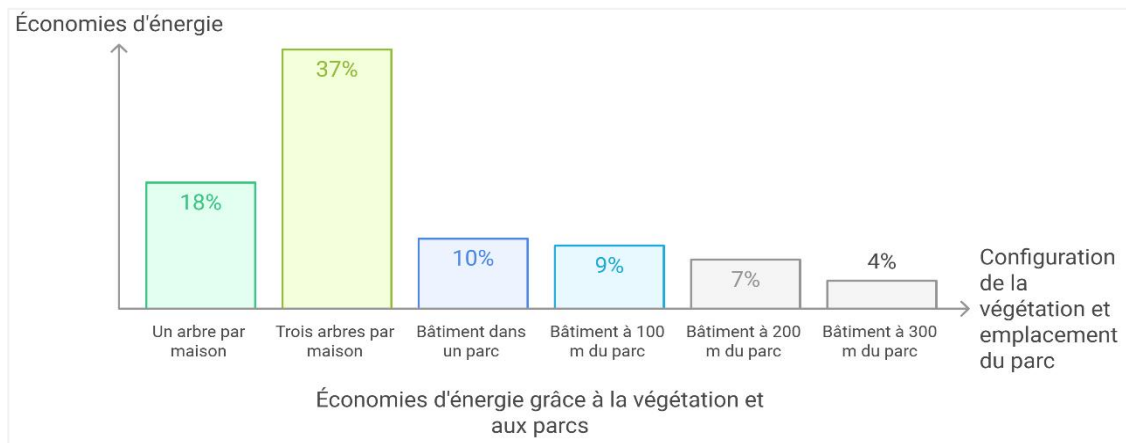


FIGURE 17 : RESULTATS DES RECHERCHES SUR L'EFFET DE VEGETATION SUR LE BÂTIMENT ; SOURCE : ILOTS DE CHALEUR 5LEVIERS POUR RAFRAÎCHIR LA VILLE 17 MAI 2023 TRAITE PAR L'AUTEUR

❖ Présence de l'eau :

Les surfaces d'eau libre augmentent l'humidité de l'air, elles sont donc avantageuses dans les climats secs, mais peuvent être source d'inconfort dans les climats très humides. L'eau participe également à réduire le stockage de chaleur grâce au phénomène d'évaporation. D'après (BOUYER, 2009)

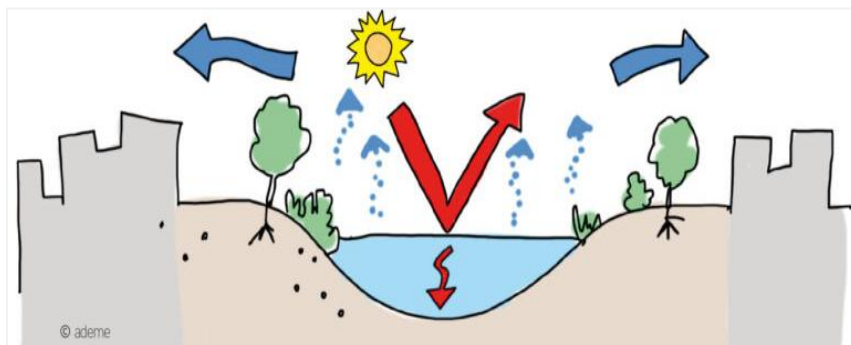


FIGURE 18 : SCHEMA REPRÉSENTENT PHENOMENE D'EVAPORATION ; SOURCE : ILOTS DE CHALEUR 5LEVIERS POUR RAFRAÎCHIR LA VILLE 17 MAI 2023

❖ vents :

En été, le vent est souvent apprécié, car il apporte une sensation de fraîcheur à l'atmosphère, tandis qu'en hiver, les vents froids peuvent causer une sensation de refroidissement importante. Ainsi, dans le cadre d'une conception bioclimatique, il est important d'utiliser et de favoriser les brises naturelles pour le rafraîchissement estival. Cependant, en hiver il est nécessaire d'améliorer l'étanchéité du bâtiment en réduisant les surfaces exposées au vent ou en installant des écrans extérieurs protecteurs. . (Samuel Courgey, 2008)

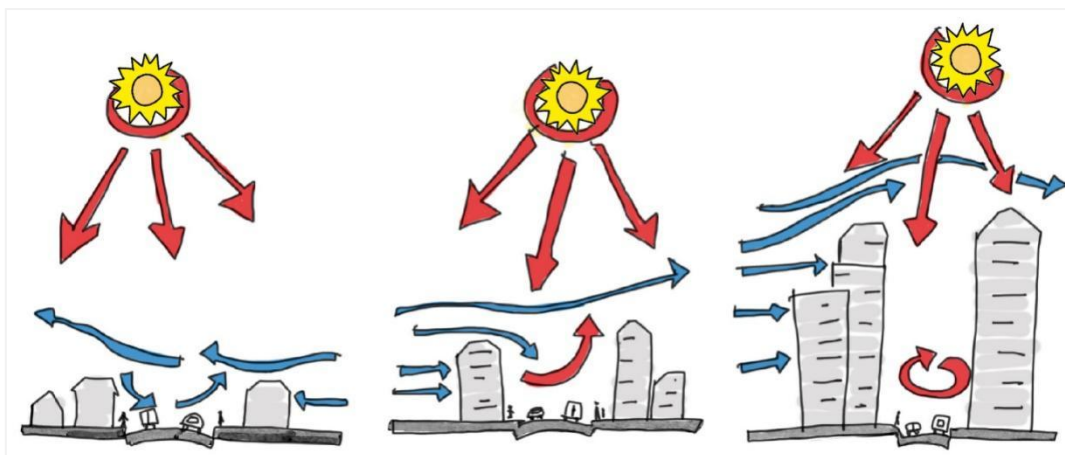


FIGURE 19 : EFFET DE VENTILATION URBAINE SUR LES BÂTIMENT ; SOURCE : ILOTS DE CHALEUR 5 LEVIERS POUR RAFRAÎCHIR LA VILLE 17 MAI 2023

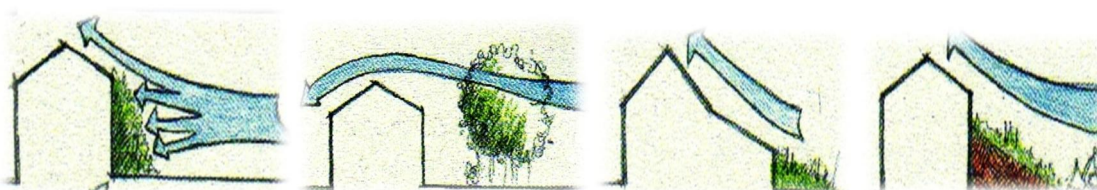


FIGURE 20 : EFFET DE LA VEGETATION SUR LES VENTS ; SOURCE : ASJP.CERIEEST.DZ

➤ Les paramètres architecturaux :

❖ Forme :

*Compacité : L'indice S/V (surface de l'enveloppe par rapport au volume du bâtiment) définit la compacité d'un bâtiment, ce qui réduit les pertes thermiques à l'extérieur du bâtiment, en diminuant les surfaces exposées aux éléments ou à un fort éclairage solaire. Pour donc diminuer la consommation énergétique d'un bâtiment, il est nécessaire de minimiser la surface de contact entre le bâtiment et son environnement.

Économique : moindre quantité de matériaux = moindre complexité et donc moindres coûts.

*Volume passif : Le volume passif est définie comme la partie du bâtiment située à moins de 6m de l'enveloppe, elle est éclairée et ventilée passivement. La zone non passive consomme deux fois plus qu'une zone passive. Donc, le volume passif représente un potentiel important d'économie d'énergie. (Boukarta, 2024)

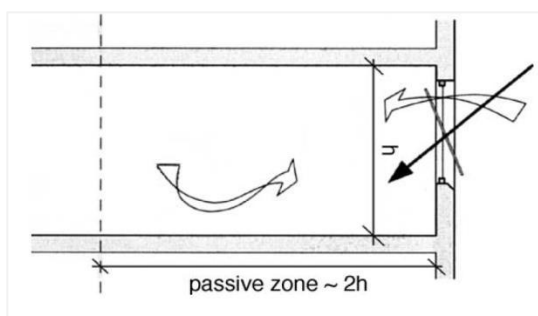


FIGURE 21 : LA ZONE PASSIVE ; SOURCE : RATTIEL AL 2005

❖ Enveloppe

* L'enveloppe d'un bâtiment est l'ensemble des surfaces qui ont un contact direct avec l'environnement extérieur, y compris les murs extérieurs, le sol, les ouvertures et le toit. En étant en contact avec l'air extérieur, l'enveloppe du bâtiment agit comme une surface d'échange thermique. De ce fait, pour réduire la consommation énergétique, il faut assurer une isolation efficace pour réduire les transferts de chaleur à travers les surfaces.

* Isolation thermique : L'isolation thermique réduit la consommation énergétique d'un bâtiment en limitant les pertes de chaleur en hiver et les apports de chaleur en été, améliorant ainsi le confort. Elle peut diminuer jusqu'à 40 % la consommation liée au chauffage dans les régions froides. Toutefois, une isolation trop importante peut empêcher l'évacuation de la chaleur intérieure en été, nécessitant l'installation d'une ventilation mécanique contrôlée (VMC). Il est donc crucial de trouver un équilibre entre isolation et ventilation pour garantir efficacité énergétique et confort.

* Les différentes techniques d'isolation :

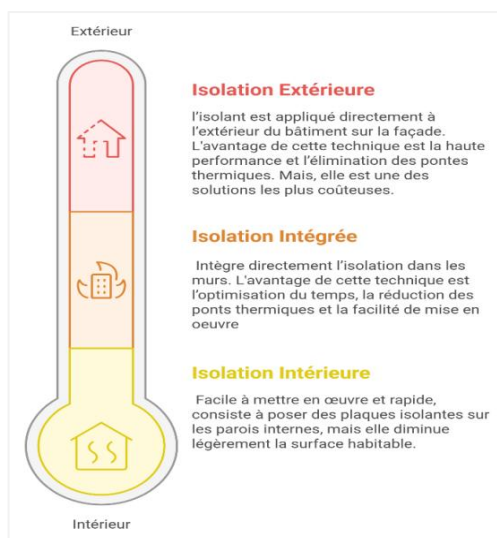


FIGURE 24: TECHNIQUE D'ISOLATION EXTÉRIEUR ; SOURCE :

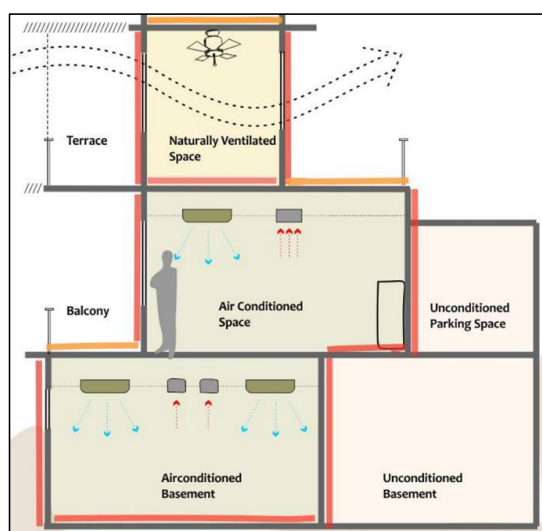


FIGURE 23: TECHNIQUE D'ISOLATION INTÉRIEUR ; SOURCE : NZEB.IN

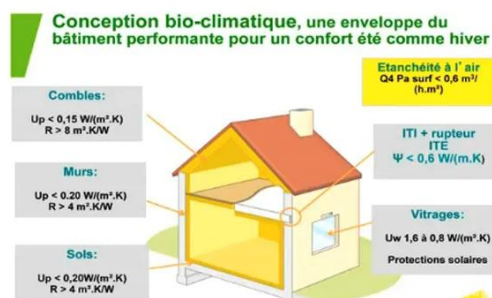


FIGURE 22 : ENVELOPPE DU BÂTIMENT PERFORMANTE ; SOURCE : RÉGLEMENTATION DES BÂTIMENTS 2020

*Matériaux isolants :

Un matériau est généralement considéré comme étant un isolant thermique lorsque la valeur de sa conductivité thermique est inférieure à 0,065 W/m.°C.(APRUE, 2014)

L'APRUE a regroupé et catégoriser les isolants thermiques selon trois grandes familles qui sont les suivis :

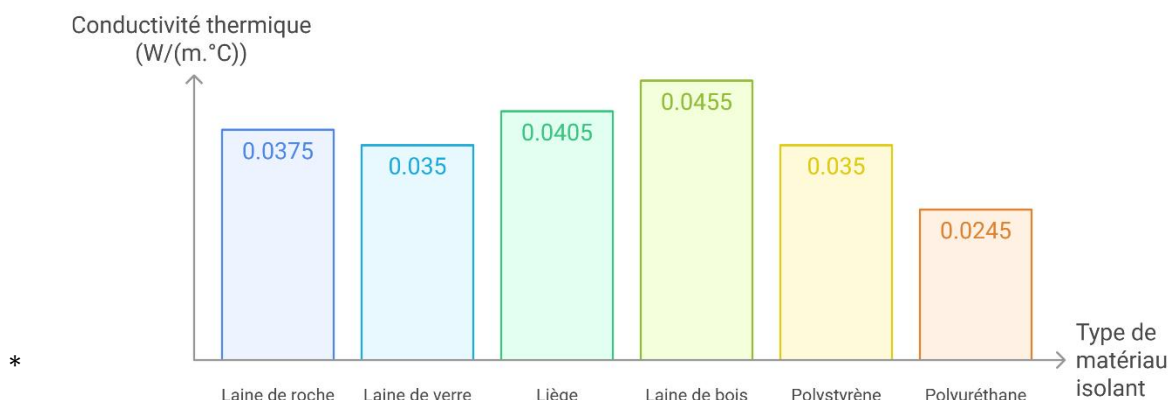


FIGURE 25 : COMPARAISON DE LA CONDUCTIVITÉ THERMIQUE DES MATÉRIAUX ISOLANTS ;
SOURCE : APRUE 2014 TRAITÉ PAR L'AUTEUR

Fenêtres et vitrages

1. Coefficient de transmission de chaleur U :

U est le coefficient inverse de R (résistance thermique) : $U = 1/R$ (KHELIFI, 2024)

Plus le coefficient U est faible, plus l'efficacité énergétique de la fenêtre augmente.

1. Les principaux types de vitrages et leurs performances :

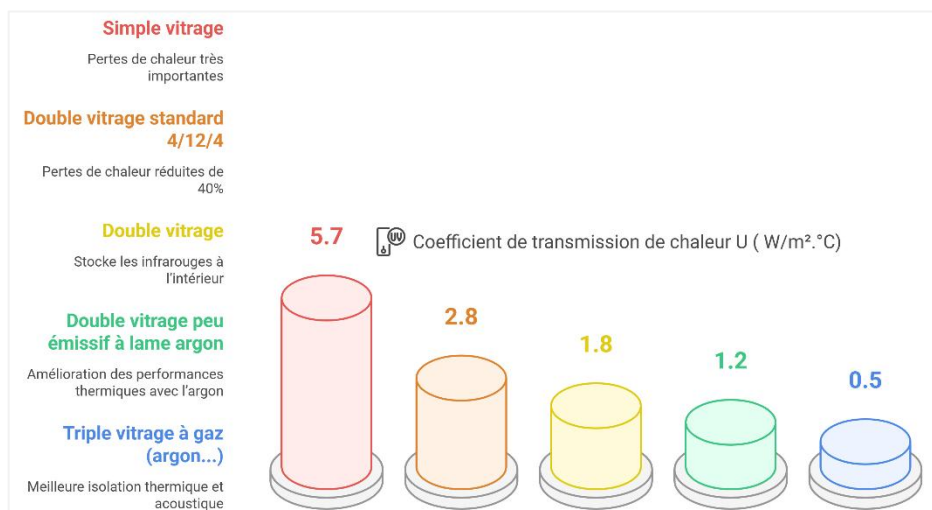


FIGURE 26 : TYPES DES VITRAGES ; SOURCE : GUIDE DE L'ÉCO CONSTRUCTION
2006 TRAITÉ PAR L'AUTEUR

* Amélioration des performances thermiques des fenêtres

L'APRUE a proposé, dans son guide de construction éco-énergétique, des solutions pour améliorer les performances énergétiques des fenêtres, qui sont les suivis :

- Utilisation de produits de calfeutrement pour réduire l'étanchéité à l'air entre ouvrant et

dormant (joint en mousse, en mastic silicone, etc.)

- Utilisation des fenêtres énergétiquement efficaces, qui offrent une grande résistance aux flux de chaleur, doivent être favorisées.

- Pose de doubles fenêtres ; cette solution est efficace aussi bien sur le plan thermique qu'acoustique.

- Pose de fermetures (persiennes, volets, etc.); la mise en place d'une fermeture permet de créer une lame d'air sensiblement immobile, et donc d'améliorer les performances thermiques des baies vitrées.

- Les dimensions et la pose des fenêtres et surfaces vitrées doivent être adéquates.

* Protections solaires :

Le rayonnement solaire constitue une source d'énergie passive pour les bâtiments. Toutefois, son impact devient un inconvénient en été, d'où le rôle intéressant des protections solaires qui permettent d'obtenir une collecte des rayonnements solaires maximale en hiver et de minimiser la surchauffe en été. (KHELIFI, 2023)

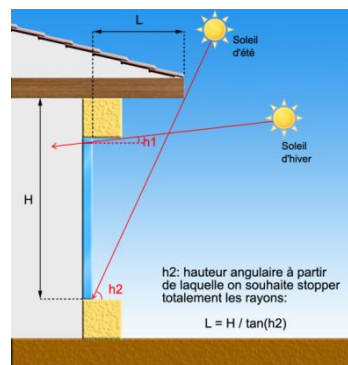


FIGURE 27 : L'ARCHITECTURE SOLAIRE PASSIVE ; SOURCE : [HTTPS://FR.SOLARPEDIA.NET](https://fr.solarpedia.net)

* Objectif des protections solaires :

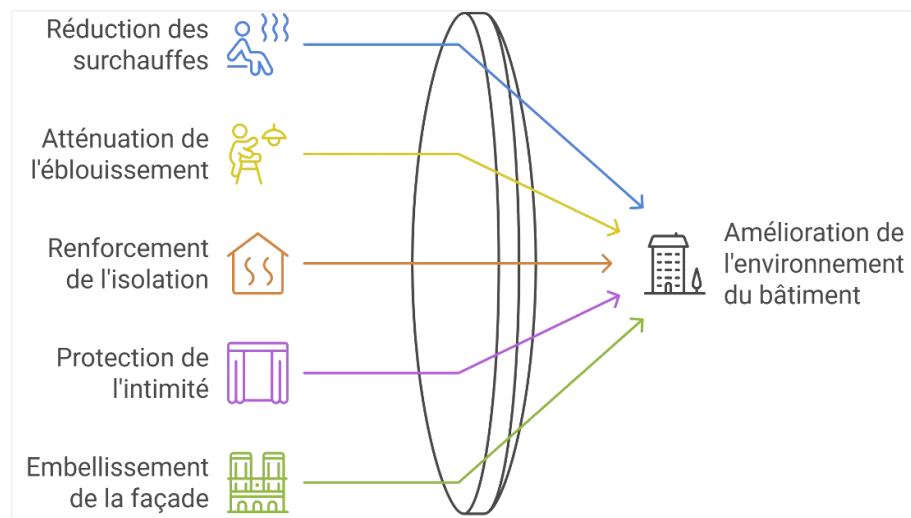


FIGURE 26: SCHÉMA DES OBJECTIFS DES PROTECTIONS SOLAIRES ; SOURCE : LEZGRAG LINA 2017 TRAITÉ PAR L'AUTEUR

IV. Le confort en architecture :

1. Définition du « Confort » :

Étymologiquement, le terme confort, tiré du mot anglais « comfort », fait allusion au « Bien être matériel résultant des commodités de ce dont on dispose » ou à « l'ensemble des éléments qui contribuent à la commodité matérielle et au bien-être » mais également au « Sentiment de bien-être et de satisfaction » (Larousse, 1979)

2. Types de confort :

Le confort thermique : Il s'agit d'éviter à la fois un excès de chaleur et un manque de chaleur.

Le confort aéraulique : la qualité de l'air intérieur devrait être acceptable, voire agréable

Le confort visuel : qui assure un environnement clair et agréable pour les yeux

Le confort acoustique : qui propose un cadre sonore pas trop bruyant.

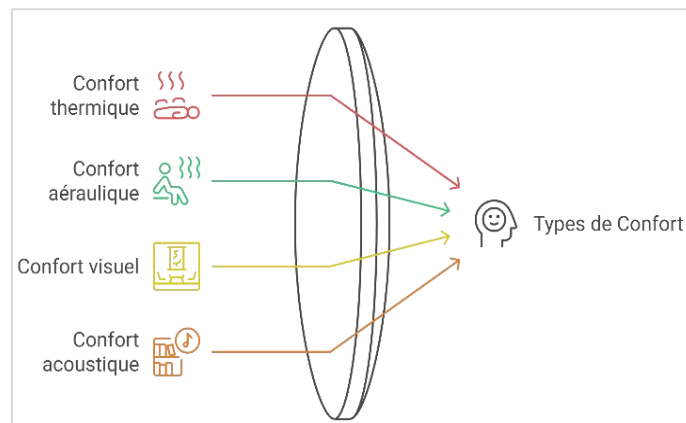


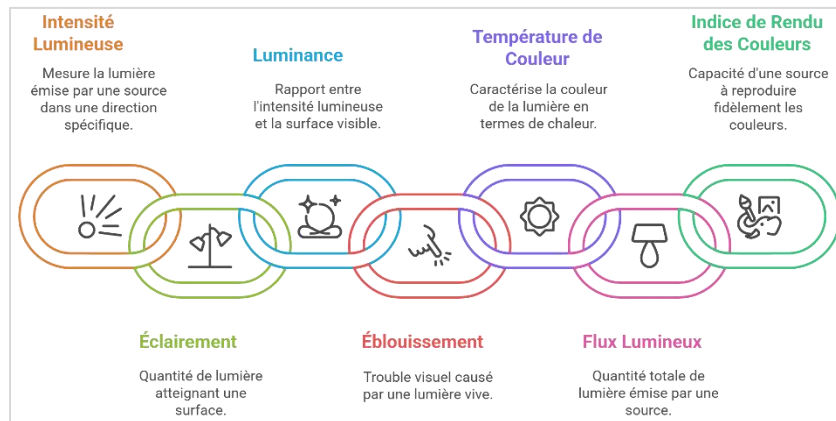
FIGURE 27 : TYPES DE CONFORT ; SOURCE : TRAITÉE PAR L'AUTEUR

3. Le confort visuel :

3.1 Définitions du « Confort visuel » :

- Le confort visuel est une impression subjective liée à la quantité, à la distribution et à la qualité de la lumière.
- Comme le décrit aussi MUDRI, 2002 « le terme de confort visuel est pris pour indiquer l'absence de gêne qui pourrait provoquer une difficulté, une peine et une tension psychologique, quel que soit le degré de cette tension ».
- Selon l'association Haute Qualité Environnementale(HQE), le « confort visuel» est défini comme la dixième cible du projet de bâtiment. Ses exigences primaires en matière d'éclairage sont les suivantes :
 - Relation visuelle satisfaisante avec l'extérieur.
 - Éclairage naturel optimal en termes de confort et de dépenses énergétiques ;
 - L'éclairage artificiel doit d'une part être satisfaisant en l'absence d'éclairage naturel et d'autre part n'être qu'un appoint à l'éclairage naturel tant que celui-ci est disponible.

3.2 Notions de base :

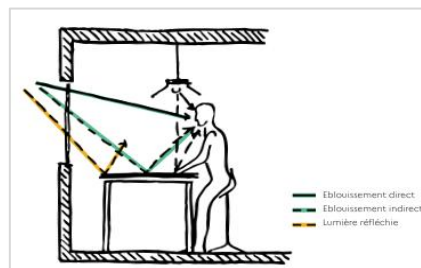


**FIGURE 28 : LES BASES DE NOTION ; SOURCE : BATIR L'ÉCOLE 2
NOTICE TECHNIQUE 2 ÉCLAIRAGE**

3.3 Les éléments de confort visuel dans les salles de cours :

Les principes de mise en œuvre du confort visuel, selon l'association H.Q.E, sont les suivants : (Hetzl ; 2003)

- Disposer de la lumière du jour dans les zones d'occupation situées en fond de pièce.
- Rechercher un équilibre des luminances de l'environnement lumineux extérieur.
- Éviter l'éblouissement direct et indirect.
- Accéder à des vues dégagées et agréables depuis les zones d'occupation des locaux.
- Protéger l'intimité de certains locaux.
- Faire appel à des revêtements clairs pour la décoration des locaux.
- Optimiser les parois vitrées, en termes de confort visuel, en traitant leur positionnement, dimensionnement et protection solaire.



**FIGURE 29: EFFET CUMULÉS DE L'ÉCLAIRAGE DIRECT ET INDIRECT ;
SOURCE : BATIR L'ÉCOLE 2 NOTICE TECHNIQUE 2 ÉCLAIRAGE**

En général, pour obtenir un environnement visuel agréable, donc propice à la réalisation d'une tâche visuelle, par : le niveau d'éclairement de la tâche visuelle ; Un rendu des couleurs correct ; une répartition harmonieuse de la lumière dans l'espace ; les rapports de luminance présents dans le local ; l'absence d'ombres gênantes ; la mise en valeur du relief et du modelé des objets ; une vue vers l'extérieur ; une teinte de lumière agréable ; l'absence d'éblouissement.

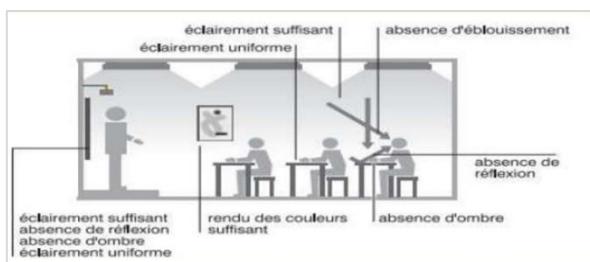


FIGURE 31: LES CRITÈRES DU CONFORT VISUEL DANS LES BUREAUX ; SOURCE : ÉNERGIE + WWW.ENERGIEPLUS-LESITE.BE

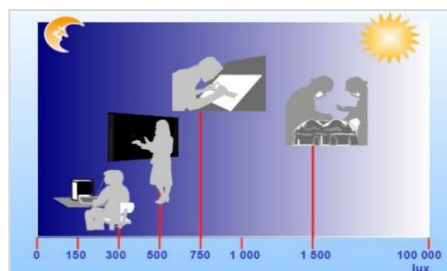


FIGURE 30: PARAMÈTRES DU CONFORT VISUEL ; SOURCE : BENEDICTE, COLLARD. FABRICE. DERNY., 2011.

3.4 L'éclairage, un vrai sujet d'optimisation énergétique :

a. Niveau d'éclairage lumineux :

Les locaux d'enseignement, plus particulièrement les salles de cours, doivent bénéficier d'un niveau d'éclairage lumineux adéquat pour l'exécution des différentes tâches visuelles qui s'y accomplissent. Il permettra une bonne vision des tâches visuelles et facilitera l'accommodation rapide de l'œil pour passer de l'une à l'autre. Selon l'Association Française de l'Eclairage, le choix de la valeur d'éclairage dans une salle de cours dépend de facteurs humains tels que l'âge des occupants et les anomalies de vision, de facteurs d'ambiance comme la couleur des parois du local et du mobilier, ainsi que de facteurs économiques tels que le coût de l'installation, les dépenses de fonctionnement et d'entretien..., en plus de la difficulté de la tâche visuelle. (Thèse magister Benharkat Sarah).

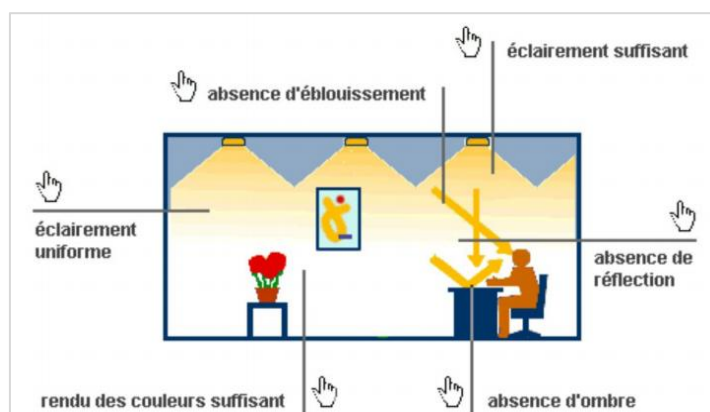


FIGURE 32: NIVEAU D'ÉCLAIREMENT LUMINEUX ; SOURCE : TLE2D CONFORT VISUEL MONAD ÉDUCATION

Les normes et des recommandations du niveau d'éclairage dans les salles de classe : vue que y'avait aucun règlements algériennes sur ca on a pris La norme NF-EN-12464-1 est une norme européenne. Elle concerne l'éclairage des lieux de travail intérieurs et fixe les exigences imposées en la matière, c'est-à-dire les limites que doivent respecter l'éclairage des lieux de travail et l'environnement immédiat.

Valeurs recommandées par la norme 12464-1 (extraits)			
Type de zone, de tâche ou d'activité	$E_{m,lx}$	UG RL –	Ra –
Crèches - Salles de jeux	300	22	80
Salles de classe de primaire et secondaire	300	19	80
Auditorium, salles de conférence	500	19	80
Tableaux noirs, verts et blancs	500	19	80
Salles d'art	500	19	80
Salles d'art dans les écoles des Beaux-Arts	750	19	90
Salles de dessin industriel	750	16	80
Salles de pratique informatique (à commande par menu)	300	19	80
Laboratoires de langues	300	19	80
Halls d'entrée	200	22	80
Zones de circulation, couloirs	100	25	80
Escaliers	150	25	80
Salles communes pour les étudiants et salles de réunion	200	22	80
Salles des professeurs	300	19	80
Bibliothèque : salles de lecture	500	19	80
Cantines scolaires	200	22	80
Cuisines	500	22	80
Pour les sources de lumière situées vers le sol, il est recommandé d'éviter les luminances élevées dans les directions d'observation par l'intermédiaire de protections contre la diffusion de la lumière.			

FIGURE 33: LES NORMES ET DES RECOMMANDATIONS DU NIVEAU D'ÉCLAIREMENT DANS LES SALLES DE CLASSE ; SOURCE : LOCAUX SCOLAIRES EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE ET CONFORT VISUEL

b. Penser l'éclairage artificiel comme un complément de l'éclairage naturel :

La lumière artificielle doit être conçue comme un palliatif à l'éclairage naturel, et uniquement envisagée lorsque la luminosité naturelle n'est pas suffisante pour les activités. C'est pourquoi la conception architecturale favorise autant que possible, à travers notamment l'étude du plan masse, la pénétration de l'éclairage naturel au sein des espaces scolaires. Ainsi l'orientation, la présence, et le dimensionnement des surfaces vitrées donnant sur l'extérieur sont des critères essentiels à une bonne conception des locaux scolaires. Selon les principes éprouvés de l'architecture bioclimatique, l'orientation nord-sud est à privilégier au maximum pour les salles de classe de préférence à une orientation est ouest. Si les baies sont correctement orientées et en nombre suffisant dans les salles de classe, il sera nécessaire de faire appel aux dispositifs compensatoires d'éclairage artificiel uniquement lorsque les temps scolaires ne correspondent plus aux heures d'ensoleillement. (Bâtir l'Ecole II Notice technique II Éclairage)

Dans le cadre d'une conception architecturale incluant de larges baies vitrées pour améliorer le facteur de lumière du jour, il est également nécessaire de trouver un juste équilibre entre cette amélioration et l'augmentation des déperditions thermiques (compensées pour partie par la mise en œuvre de doubles vitrages) ainsi que d'un effet de paroi froide, facteur d'inconfort.



FIGURE 34: LES SALLES DE CLASSE ; SOURCE : ARCHITECTURE & CLIMAT, FACULTÉ D'ARCHITECTURE, D'INGÉNIEURIE ARCHITECTURALE, D'URBANISME (LOCI) (BELGIQUE)

SIMULATIONS DU FACTEUR DE LUMIÈRE DU JOUR POUR UNE CLASSE COMPORTANT 35% DE BAIES VITRÉES EN EXPOSITION SUD-EST. L'AUTONOMIE EN LUMIÈRE DU JOUR EST DE 80% POUR UN FACTEUR DE LUMIÈRE DU JOUR DE 4,5%.

3.5 Confort visuel et bien-être :

1. La qualité de la lumière naturelle dans un bâtiment dépend entièrement de la conception architecturale, contrairement à l'éclairage artificiel qui est adaptable.
2. La maîtrise de l'apport lumineux naturel doit être un prérequis idéalement combinée avec une vue extérieure bien pensée.
3. Une vue dégagée vers l'extérieur apaise et agrandit l'espace, tandis qu'une vue sur des activités extérieures peut nuire à la concentration.
4. La conception doit considérer plusieurs facteurs contextuels : localisation géographique, environnement proche et lointain, orientations, teintes intérieures, volumétrie des espaces, et caractéristiques des ouvertures. (archiclasse.education.fr)

3.6 Le confort visuel contribue à l'apprentissage des enfants :

La concentration des élèves dépend directement d'un éclairage dont l'intensité est appropriée à l'activité en cours. Un éclairage excessif ou insuffisant peut perturber l'attention et créer des conditions défavorables à l'apprentissage.

La vue représente le canal sensoriel prédominant dans le processus d'apprentissage pour la majorité des enfants, avec environ 80% des informations environnantes captées visuellement.

L'intensité lumineuse doit être modulée selon la nature de l'activité pédagogique :

Une lumière plus douce favoriserait la concentration lors des activités nécessitant une attention soutenue



FIGURE 35: LE CONFORT VISUEL CONTRIBUE À L'APPRENTISSAGE DES ENFANTS ; SOURCE : ARCHICLASSE.EDUCATION.FR

Un éclairage plus intense serait préférable pour les activités d'observation détaillée et de manipulation. (archiclasse.education.fr)

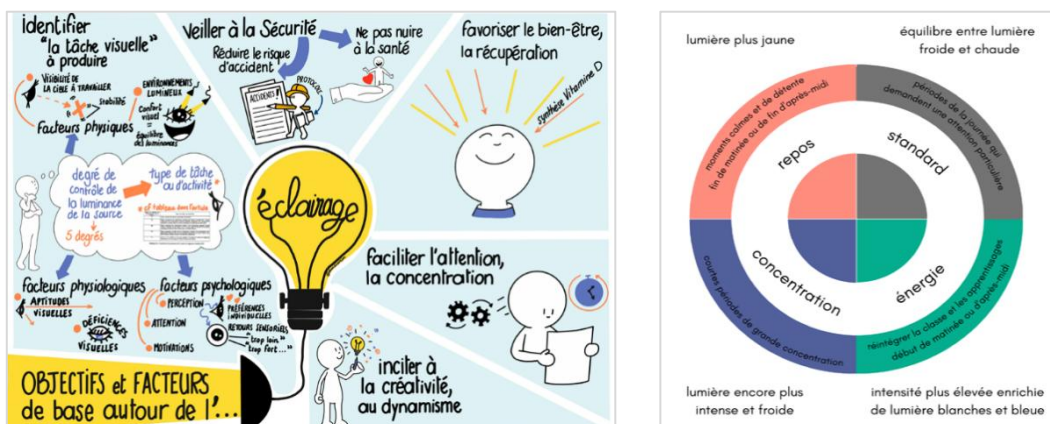


FIGURE 36: LA LUMIÈRE POUR APPRENTISSAGE ; SOURCE : ARCHICLASSE.EDUCATION.FR

3.7

Méthodes d'évaluation de confort visuel :

Les méthodes d'évaluation du confort visuel reposent principalement sur la mesure quantitative et qualitative des conditions lumineuses dans un espace donné. Le schéma au-dessus montre les principales approches :

1	Mesures photométriques Mesurer l'éclairement et la luminance
2	Indices de confort Facteur de lumière du jour (FLJ) Indice d'éblouissement
3	Simulations numériques Modélisation 3D avec logiciels spécialisés (Radiance, DIVA, Dialux) Études dynamiques sur l'année entière Visualisation des zones d'éblouissement potentiel Analyse des zones de sur-éclairage et sous-éclairage
4	Évaluations subjectives Questionnaires de satisfaction des occupants Échelles d'évaluation du confort perçu Observations comportementales des utilisateurs Entretiens sur l'expérience visuelle

FIGURE 37: LES MÉTHODES D'ÉVALUATION DU CONFORT VISUEL ; SOURCE : [HTTPS://ENERGIEPLUS-LESITE.BE/THEORIES/ECLAIRAGE12/PHYSIQUE-LUMIERE/FACTEUR-DE-LUMIERE-DU-JOUR/](https://energieplus-lesite.be/theories/eclairage12/physique-lumiere/facteur-de-lumiere-du-jour/)

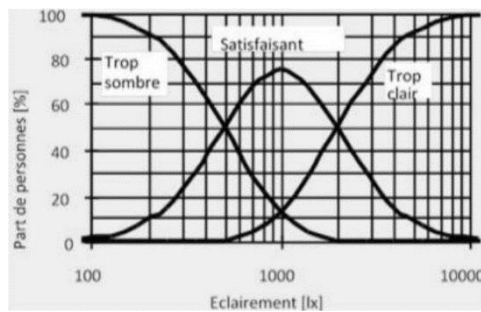


FIGURE 40 : ARIATION DU POURCENTAGE DES PERSONNES SATISFAITES EN FONCTION DE L'ÉCLAIREMENT. ; SOURCE : GUIDE BATIMENT DURABLE. BRUXELLES ENVIRONNEMENT.BE

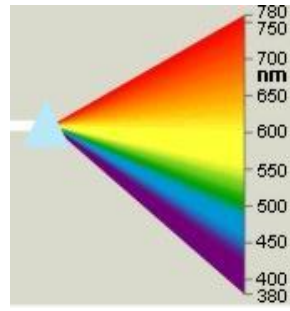


FIGURE 39 LE DIAGRAMME DE KRUIHOF ; SOURCE : SUZEL BALEZ, 2007

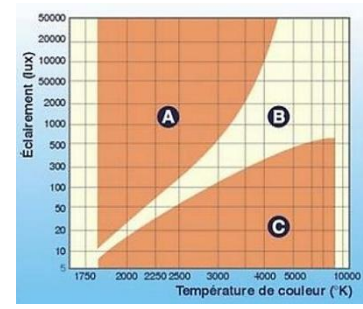


FIGURE 38: SPECTRE LUMINEUX VISIBLE ; SOURCE : [HTTPS://ENERGIEPLUS-LESITE.BE](https://energieplus-lesite.be)

Classe d'IRC	Plage d'IRC	Perception des couleurs
1 A	25 > Ra	Faible
1 B	65 > Ra > 25	Moyenne
2	90 > Ra > 65	Bonne
3	Ra > 90	Elevée

FIGURE 41: CLASSIFICATION DE LA PERCEPTION DES COULEURS SELON LA PLAGE D'IRC ; SOURCE : [HTTPS://ENERGIEPLUS-LESITE.BE](https://energieplus-lesite.be)

V. L'éducation :

V.1 Définition de l'éducation :

Selon le dictionnaire LAROUSSE : « éducation » vient du mot latin (EDUCATIO). Action d'éduquer, de former, d'instruire quelqu'un ; manière de comprendre, de dispenser, de mettre en œuvre cette formation.

L'éducation est l'action de « guider hors de », c'est-à-dire développer, faire produire. Il signifie maintenant plus couramment l'apprentissage et le développement des facultés physiques, psychiques et intellectuelles ; les moyens et les résultats de cette activité de développement. (Paris, Seuil, 1999)

V.2 Définition des concepts liés à l'éducation :

- L'apprentissage : Selon la définition de De Ketele (1989) : l'apprentissage est un processus systématique et intentionnellement orienté vers l'acquisition de certains savoirs, savoir-faire, savoir-être et savoir-devenir (De Ketele & al. 1989)
- Connaissance : Peut être définie comme l'appropriation d'un savoir par un individu, résultant d'un processus d'assimilation et d'organisation des informations acquises. Selon une source, "la connaissance est indissociable d'un sujet connaissant.

Lorsqu'une personne intériorise un savoir, elle transforme ce savoir en connaissance (Catherine Chabrun, 2010)

- Développement : un processus d'apprentissage qui vise à améliorer les compétences, les connaissances et les valeurs des individus.
- Aptitude : une aptitude est la capacité d'un individu à effectuer une tâche spécifique ou à résoudre un problème à un niveau de compétence élevé (Rick van Echtelt, 2024)

V.3 Les piliers de l'éducation :

Les quatre piliers de l'éducation, tels que définis par Jacques Delors dans son rapport pour l'UNESCO (1996), sont dans le schéma au-dessus :

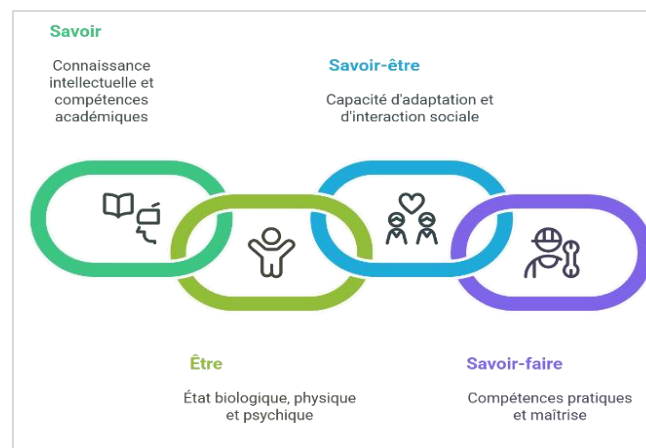


FIGURE 42: LES PILIERS DE L'ÉDUCATION ; SOURCE : L'UNESCO (1996), TRAITÉ PAR L'AUTEUR

V.4 L'école primaire :

L'école primaire est un lieu fondamental pour la vie, la culture et les rencontres. Elle regroupe l'éducation préscolaire et l'enseignement élémentaire, offrant ainsi un cadre d'apprentissage essentiel pour les enfants d'âge scolaire.

V.4.1 Définition de l'école / école primaire :

École : Selon CNRTL (Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales) : Établissement où l'on donne un enseignement collectif, général ou spécialisé, et, instruction primaire et secondaire.

École primaire est définie comme un établissement chargé de fournir un enseignement collectif général aux enfants d'âge scolaire et préscolaire.

*En Algérie : L'enseignement primaire, ou l'école primaire, est dans plusieurs pays, le premier degré de l'enseignement. Il permet notamment l'apprentissage de la lecture, de l'écriture et des bases des mathématiques. Les enfants entreprennent leurs études primaires vers l'âge de 6 ans et les achèvent vers l'âge de 11 ans. (Ministre éducatif algérienne)

*En France : - Il regroupe :

-École maternelle : de 3 ans « parfois 2 ans » à 6ans, l'enseignement scolaire n'y pas

obligatoire.

-École élémentaire : de 6 ans à 11ans, l'enseignement scolaire obligatoire à l'école ou à la maison

V.4.2 Objectif de l'école primaire :

Est de développer toutes les capacités de l'enfant en lui apportant les éléments et les instruments fondamentaux du savoir : expression orale et écrite, lecture, mathématiques.

Il lui permet de recevoir une éducation convenable, d'étendre sa conscience du temps, de l'espace, des objets et de son propre corps, de développer son intelligence, sa sensibilité, ses aptitudes manuelles, physiques et artistiques. Il lui permet également l'acquisition progressive de savoir méthodologique et le prépare à suivre dans de bonnes conditions la scolarité au collège d'enseignement moyen.

V.4.3 Exigences des écoles primaires :

a) Exigences d'implantation :

TABLEAU 1 : LES EXIGENCES D'IMPLANTATION ; SOURCE : GUIDE POUR LA RÉALISATION DES ÉTABLISSEMENTS DU PREMIER CYCLE UNESCO PARIS

Milieu Urbain	Milieu rurale
Le site de l'école sera choisi de préférence à l'écart des grands axes de circulations, tout en restant facilement accessible depuis la voirie publique. -éviter que les poussières, les gaz, les odeurs et les bruits ne gênent les élèves. - Le terrain doit être clôturé par un mur	Le site de l'école sera choisi en fonction d'une desserte optimale, c'est à dire : - une topographie permettant un accès aisé à l'école - la proximité d'un réseau de routes, de pistes. - une desserte en transports collectifs - à proximité de l'eau potable (puits, sources, oueds.)

b. La hauteur des constructions :

Est limitée à deux niveaux (rez-de-chaussée + un étage). Exceptionnellement, cette hauteur peut être portée à trois niveaux (rez-de-chaussée + deux étages). Les cas d'exception sont :

-la rareté du sol (par exemple dans les palmeraies), le prix élevé du sol ou de l'équipement.

V.4.4 Types conceptuelles des écoles primaires :

Le choix d'un type donné dépend des caractéristiques spécifique de l'école, du niveau d'éducation et du nombre d'élèves .mais il dépend également de la philosophie de l'école en matière d'éducation, des conditions climatiques et de son emplacement dans la région (urbain, suburbain ou rural).

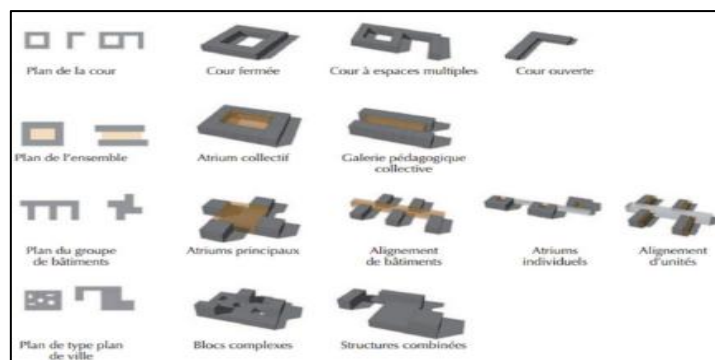


FIGURE 43: TYPES DE MODÈLES CONCEPTUELLE DES ÉQUIPEMENTS SCOLAIRE ; SOURCE :OCDE, 2010

- Type cour :

L'organisation des bâtiments scolaires autour d'une cour centrale reste un modèle architectural qui a traversé le temps. Cette conception traditionnelle continue d'être privilégiée par les établissements qui accordent une importance particulière aux espaces extérieurs dans leur projet pédagogique. La cour, véritable cœur de l'école, demeure un élément structurant de l'espace scolaire.

Description	
Morphologie du Bâtiment	L'architecture suit un modèle linéaire (en L, U ou C) ou des îlots fermés autour d'une cour centrale, généralement sur un à trois étages.
Variantes de la forme	
Les espaces extérieurs	La cour est une zone protégée de grande superficie, facile à surveiller et rassurante pour les élèves.
L'organisation interne	Les salles de classe s'organisent autour d'un couloir, conçu principalement comme un espace de circulation.

TABLEAU 2 DESCRIPTION DE TYPE COUR ; SOURCE :RIGOLON, A 2010, TRAITÉ PAR L'AUTEUR

- Type bloc :

L'architecture de type bloc se distingue par sa conception ramassée et fonctionnelle. Elle privilégie une organisation intérieure rationnelle et épurée. Sa particularité principale réside dans l'aménagement d'un vaste espace central de rencontre et d'échange, qui dessert directement les différentes salles de classe et espaces pédagogiques.

Description	
Morphologie du Bâtiment	Le bâtiment se présente comme un bloc compact de deux à trois étages, conçu pour optimiser l'espace et favoriser l'interaction entre les différentes zones pédagogiques.
Variantes de la forme	 Plan de l'ensemble Atrium collectif Galerie pédagogique collective
Les espaces extérieurs	Habituellement, ces plans ne concernent pas d'espace extérieur. Ils sont généralement situés dans des zones urbaines densément peuplées, sur de petits terrains.
L'organisation interne	Les salles de classe s'organisent soit autour d'un atrium central couvert, soit autour d'une galerie pédagogique collective. Ces espaces constituent le cœur social de l'école, favorisant les interactions et les échanges entre élèves.

TABLEAU 3 : DESCRIPTION DE TYPE BLOC ; SOURCE : RIGOLON, A 2010, TRAITÉ PAR L'AUTEUR

- Type grappe :

Le modèle en grappe se caractérise par une architecture modulaire où le bâtiment est divisé en plusieurs volumes distincts. Chacun de ces modules peut fonctionner comme une entité pédagogique autonome. Quand ces espaces dépassent le concept traditionnel de la salle de classe unique pour intégrer des zones d'apprentissage variées, ils forment de véritables microenvironnements éducatifs, ou "unités d'apprentissage" à échelle réduite.

Description	
Morphologie du Bâtiment	Il se compose de plusieurs ensembles de bâtiments, avec des blocs pédagogiques individuels interconnectés par un espace central, tel qu'un atrium commun ou une galerie éducative.
Variantes de la forme	 Atriums principaux Alignement de bâtiments Atriums individuels Alignement d'unités
Les espaces extérieurs	L'aménagement des zones extérieures spécialement conçu pour comprendre diverses activités, combinant espaces sportifs et aires pédagogiques en plein air.
L'organisation interne	Chaque bâtiment fonctionne comme une unité pédagogique autonome, avec ses propres espaces et activités d'apprentissage spécifiques, tout en restant connecté à l'ensemble de l'établissement.

TABLEAU 4: DESCRIPTION DE TYPE GRAPPE ; SOURCE : RIGOLON, A 2010, TRAITÉ PAR L'AUTEUR

- Type ville :

Ce modèle architectural s'inspire de l'organisation urbaine, d'où son nom "type ville". Il s'articule autour d'un espace central majeur, comparable à une place publique principale, bordée des équipements collectifs essentiels comme la bibliothèque et l'auditorium. À partir

de ce cœur, un réseau de passages, tels des rues, mène progressivement vers des espaces plus intimes. Cette organisation suit une logique de circulation et naturelle fluide, se distinguant ainsi de la structure plus géométrique du modèle en grappe.

Description	
Morphologie du Bâtiment	L'établissement se compose de plusieurs bâtiments répartis dans l'espace, unis par un élément central fédérateur : l'atrium ou la galerie éducative qui sert d'espace de rassemblement et de circulation principale.
Variantes de la forme	 Plan de type plan de ville Blocs complexes Structures combinées
Les espaces extérieurs	L'aménagement extérieur s'organise comme un réseau urbain miniature, composé d'allées, d'espaces centraux ouverts et de zones dédiées aux activités sportives et culturelles.
L'organisation interne	Les espaces d'apprentissage modernes adoptent des configurations variées, allant de l'agencement traditionnel avec salles et couloirs jusqu'aux formats plus compacts de type bloc, où les espaces tendent à se fondre les uns dans les autres.

TABEAU 5: DESCRIPTION DE TYPE VILLE ; SOURCE :RIGOLON, A 2010, TRAITÉ PAR L'AUTEUR

Notre choix : On a choisi un plan de la cour fermé (pour bien surveiller les enfants) ; plan de l'ensemble (atrium collectif) ; type de plan de ville (structures combinées).

V.4.5 Les types des écoles primaires en Algérie :

En Algérie, les écoles primaires sont classées selon le nombre des classes, on distingue 04 types : A,B,C,D

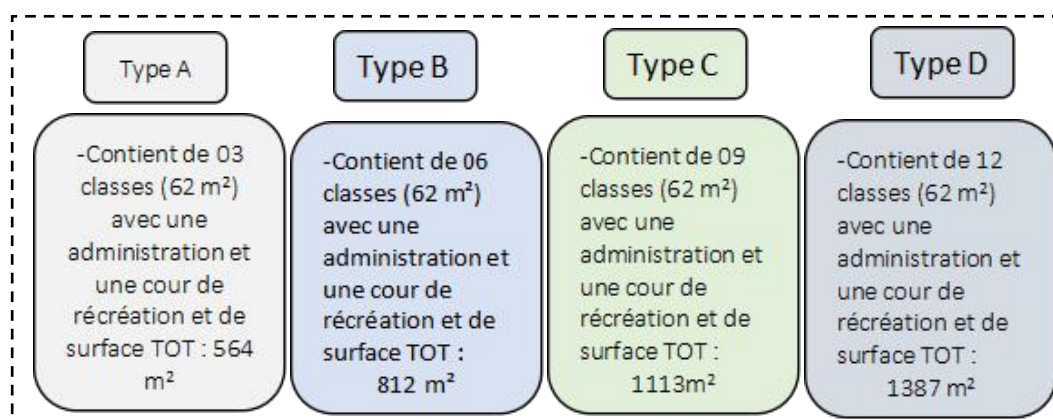


FIGURE 44 : TYPES DES ECOLES ; SOURCE : JOURNAL NATIONAL, TRAITÉ PAR L'AUTEUR

V.4.6 L'organisation fonctionnelle d'une école primaire :

Les fonctions qui peuvent accueillir une école primaire sont synthétisées dans le schéma suivant :

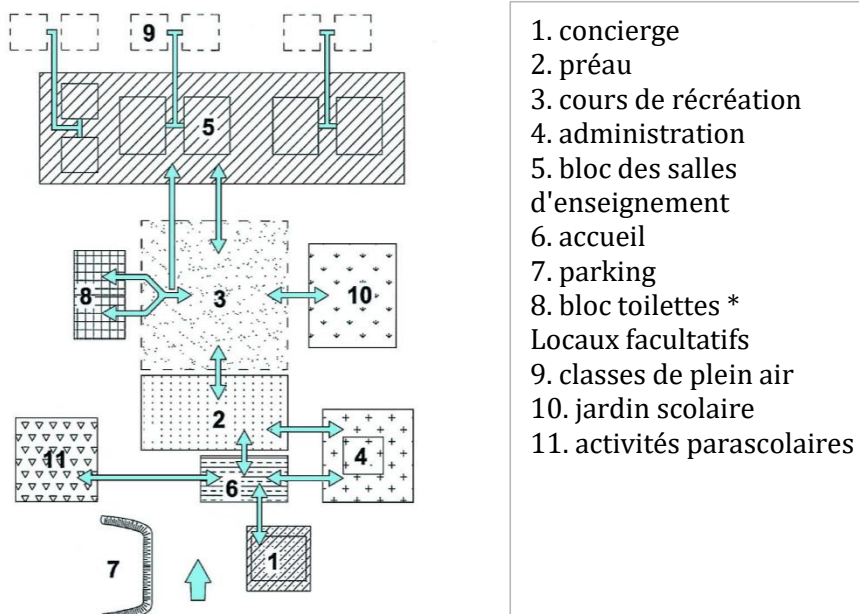


FIGURE 45 SCHÉMA DE FONCTIONNEMENT ; SOURCE :GUIDE DE CONCEPTION DES BÂTIMENT ÉDUCATIFS

V.4.7 Les formes de classes :

La salle de classe devrait idéalement avoir une forme carrée, mais elle peut aussi être rectangulaire ou adopter d'autres formes géométriques (comme hexagonale, trapézoïdale, octogonale, etc.), comme illustré ci-dessous (Neufert, 10^e édition ; Hoyet, 2010).

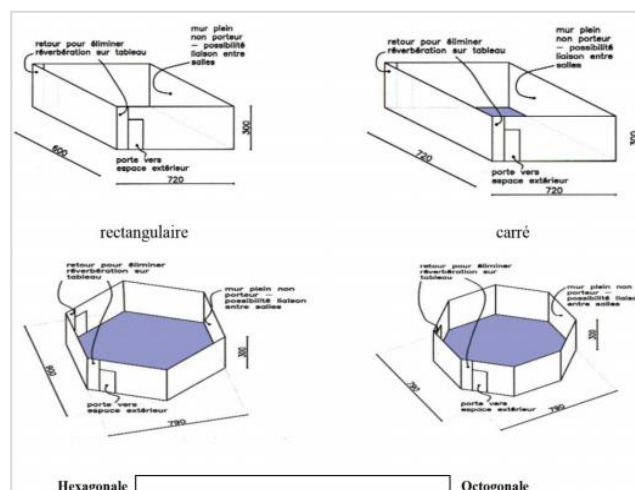


FIGURE 46: FORMES DES SALLES DE CLASS ; SOURCE : NEUFERT, 10^e EDITION ; HOYET, 2010

V.4.8 Les normes des espaces :

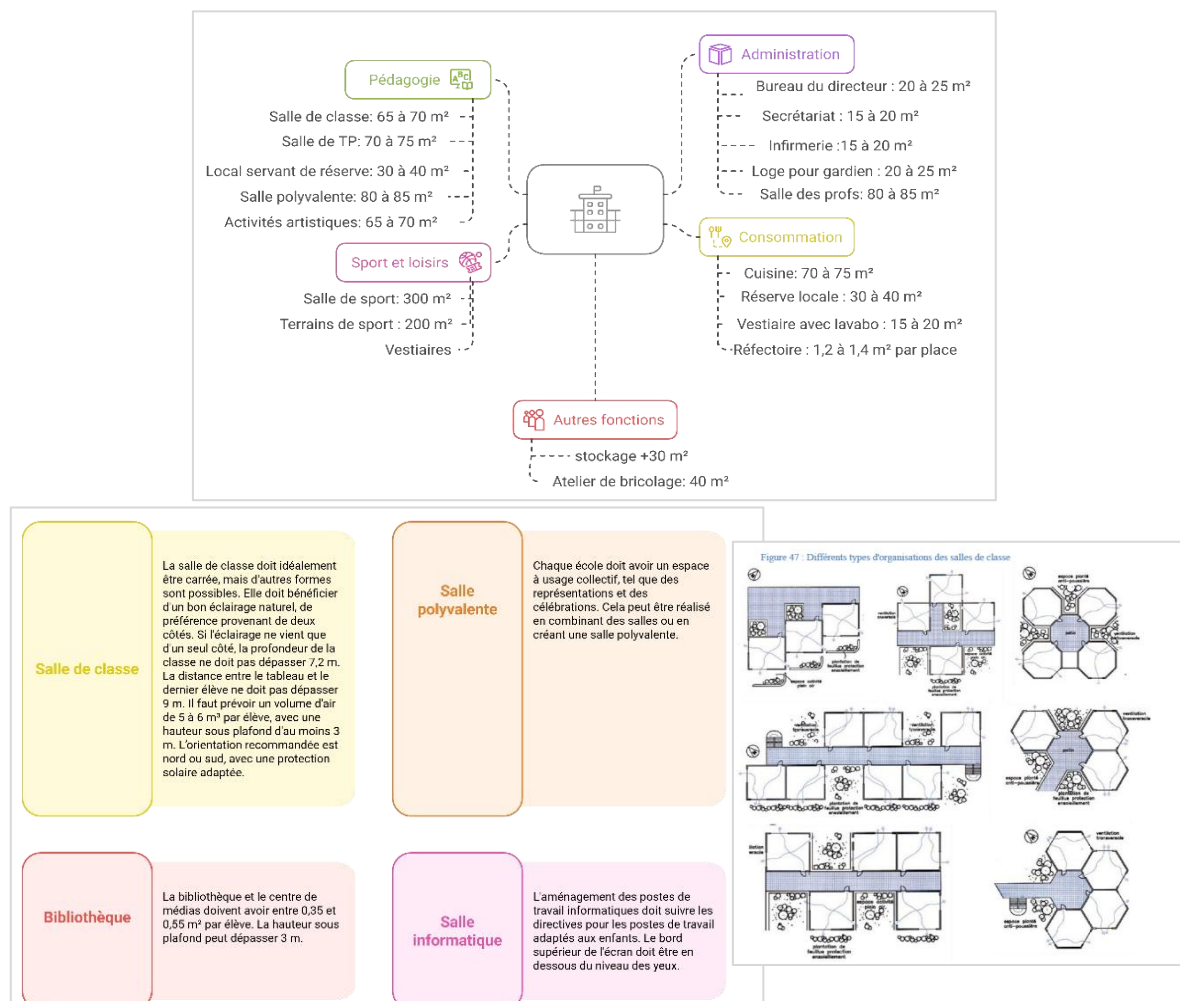


FIGURE 47: LES EXIGENCES SPATIALES ; SOURCE : NEUFERT, 10^e ÉDITION ; HOYET, 2010 TRAITÉE PAR L'AUTEURE

Exigences spatiales de différents espaces pédagogiques :

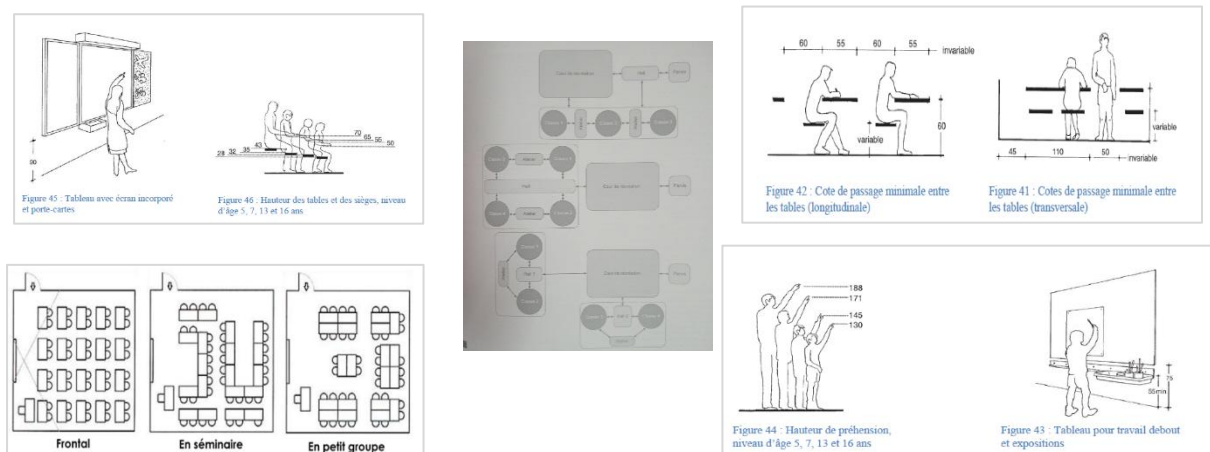


FIGURE 48 : LES NORMES DES ESPACES ; SOURCE : NEUFERT, 10^e ÉDITION ; HOYET, 2010 TRAITÉE PAR L'AUTEURE

V.5 la nouvelle pédagogie :

Au début du XXe siècle, une nouvelle orientation pédagogique émerge, entraînant un changement radical des idées, notamment dans le domaine des arts. Cela marque l'avènement de la pédagogie moderne, souvent désignée comme "pédagogie active".

La pédagogie active s'inscrit dans le cadre de l'apprentissage expérientiel, qui repose sur le principe "d'apprendre en faisant." Cette approche valorise l'engagement direct des apprenants dans leur processus éducatif, favorisant ainsi une expérience d'apprentissage plus significative et interactive.



FIGURE 49 : LES ACTIVITES DE DECOUVERTES « LE JARDINAGE » ;
SOURCE :PINTRESTE

V.5.1 Les exigences pédagogiques :

- Une pédagogie centrée sur l'apprenant, reconnu comme sujet actif.
- L'utilisation de méthodes actives favorisant la participation, la coopération et la réflexion critique.
- Un objectif d'épanouissement global, intégrant savoirs, savoir-faire et savoir-être.
- La préparation des apprenants à s'adapter à un monde en mutation rapide, en développant créativité et esprit critique (Pédagogies : méthodes et approches)

« La fonction du milieu n'est pas de former l'enfant, mais de lui permettre de se révéler »

M. Montessori



FIGURE 50: LA PÉDAGOGIE AU CŒUR DE CONTRADICTION ; SOURCE : PINTRESTE

a. Concept de transformation du réel par l'enfant à travers le jeu :

Le jeu symbolique est une activité ludique essentielle au développement de l'enfant, où il utilise son imagination pour transformer des objets en symboles. Il favorise le développement cognitif en stimulant la pensée abstraite, la planification, la résolution de problèmes et le langage. De plus, il enrichit le vocabulaire et la communication.

Le jeu symbolique aide l'enfant à développer des compétences sociales et émotionnelles comme le partage, la coopération, la gestion des émotions, l'autonomie et la créativité.



FIGURE 51 : LA PARTICIPATION DES ENFANTS DE VIETNAM DANS LA PLANIFICATION URBAINE BASIQUE 06/2018 ; SOURCE :UNCEF. BASIC-URBAIN



FIGURE 52: LE JEU ET SES MOTIVATIONS ; SOURCE : PINTRESTE

Les jeux des enfants ne sont pas des jeux et il les faut juger comme leurs plus sérieuses actions. (Montaigne)

b. L'expression artistique et culturelle :

L'expression artistique ouvre un espace de liberté créative où chaque individu peut donner forme à ses idées et émotions sans contraintes. À travers cette pratique, on développe une meilleure compréhension et appréciation de la diversité des perspectives, des formes d'expression et des manières d'agir qui composent notre société. Cette dimension de l'art en fait un outil pédagogique puissant qui favorise le développement de l'esprit critique et de l'autonomie, contribuant ainsi à une éducation véritablement émancipatrice.

« L'art exprime des valeurs, tandis que la science décrit des faits, et que l'art est un de nos moyens pour communiquer des valeurs pour qu'elles deviennent communes » Christian Noberg-Schlz

- ❖ Remarque : Le but n'étant pas, bien sûr, de former de futurs artistes mais de leur permettre d'épanouir les potentialités créatives que tous possèdent.

L'art et ses pratiques sont générateurs de confiance en soi, d'esprit d'initiative, de désir de créer et d'intérêt pour la culture de l'humanité en général et de la société moderne en particulier.



FIGURE 53: LES ACTIVITES D'EXPRESSION ; SOURCE : PINTRESTE

L'omniprésence du numérique transforme radicalement notre société, avec une influence particulièrement marquée chez les jeunes générations. On observe notamment une adoption précoce et intensive des outils numériques, les enfants de 5-7 ans constituant la catégorie d'utilisateurs qui progresse le plus rapidement. Les adolescents, quant à eux, pratiquent couramment le multitâche numérique, naviguant simultanément entre plusieurs applications. Cette nouvelle réalité exige une compréhension approfondie de la façon dont les technologies numériques captent l'attention des jeunes et influencent leurs comportements.

Face à cette évolution, il devient essentiel de repenser les espaces d'apprentissage. L'aménagement doit désormais privilégier la flexibilité et permettre un accès optimal aux ressources numériques, afin de répondre aux nouveaux usages et besoins des apprenants



FIGURE 54 : OMNI PRÉSENCE DE LA TECHNOLOGIE ; SOURCE : PINTRESTE

V.6 Learning spaces «Espaces d'apprentissage» :

V.6.1 Définition :

Se réfèrent à des environnements physiques ou virtuels conçus pour faciliter l'enseignement et l'apprentissage. Ces espaces peuvent aller des salles de classe traditionnelles à des conceptions innovantes et flexibles qui soutiennent diverses approches pédagogiques.

* constituent un élément essentiel de l'écosystème éducatif, dépassant les configurations traditionnelles des salles de classe pour englober divers environnements conçus pour faciliter des expériences d'apprentissage efficaces.

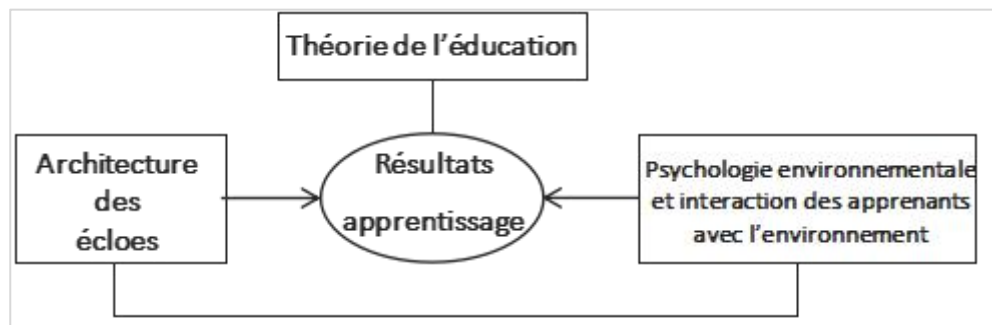


FIGURE 55: THÉORIE DE L'ÉDUCATION; SOURCE: THÈSE, ARCHITECTURE AS PEDAGOGY_ DESIGNING SUSTAINABLE SCHOOLS AS THREE-

V.6.2 Caractéristiques Clés des Espaces d'Apprentissage Efficaces :

- Flexibilité : Environnements adaptables pouvant être reconfigurés selon différentes méthodologies d'enseignement et activités d'apprentissage
- Intégration technologique : Incorporation harmonieuse d'outils numériques qui améliorent les expériences éducatives
- Conception centrée sur l'apprenant : Aménagements spatiaux qui privilégient l'engagement et la collaboration des apprenants
- Considérations multi-sensorielles : Attention aux éléments acoustiques, visuels et tactiles qui soutiennent divers styles d'apprentissage
- Éléments biophiliques : Intégration d'éléments naturels et connexions avec l'extérieur
- Collaboration et Interaction : Encourager le travail d'équipe grâce à des espaces partagés comme les "points d'eau" ou les zones de collaboration.
- Créativité et Innovation : Soutenir diverses activités d'apprentissage avec des outils comme les makerspaces ou les ressources numériques.
- Connexion aux Contextes Réels : Intégrer des opportunités d'apprentissage expérientiel à travers des activités de projet ou en plein air.

V.6.3 Types d'Espaces d'Apprentissage

L'architecture éducative contemporaine reconnaît plusieurs types distincts d'espaces d'apprentissage :

- Environnements d'apprentissage formels : Salles de classe traditionnelles, amphithéâtres et laboratoires.
- Zones d'apprentissage informelles : Espaces communs, zones de détente et lieux de rassemblement social.
- Environnements d'apprentissage virtuels : Plate-forme numériques et espaces intégrant des technologies avancées.
- Cadres d'apprentissage extérieurs : Jardins, cours et espaces naturels qui étendent l'apprentissage au-delà des murs.

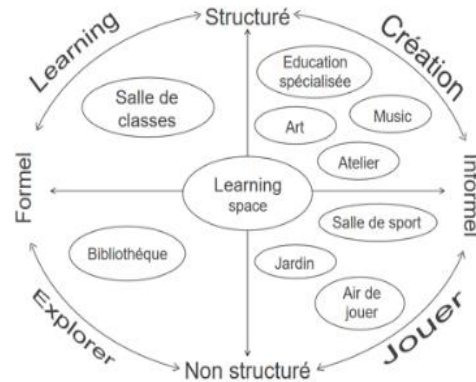


FIGURE 56 : LES ESPACES D'APPRENTISSAGE ; SOURCE : THÈSE, ARCHITECTURE AS PEDAGOGY_ DESIGNING SUSTAINABLE SCHOOLS AS THREE-

Environnements d'apprentissage spécialisés : Espaces de création, centres médiatiques et autres installations à usage spécifique.

V.6.4 Considérations de Conception :

La création d'espaces d'apprentissage efficaces nécessite une attention particulière à :

- La performance acoustique et le contrôle du bruit.
- Les stratégies d'éclairage naturel et artificiel.
- Le confort thermique et la qualité de l'air
- La sélection de mobilier pour le confort et

l'adaptabilité

- La stimulation visuelle équilibrée avec la minimisation des distractions
- La conception inclusive répondant à des besoins divers
- La connexion au contexte et aux valeurs de la communauté

Ces éléments de conception fonctionnent ensemble pour créer des environnements qui soutiennent non seulement la réussite académique, mais aussi le développement social, le bien-être émotionnel et l'acquisition des compétences du 21^e siècle.



FIGURE 57 : UN ESPACE D'APPRENTISSAGE ; SOURCE : PINTREST

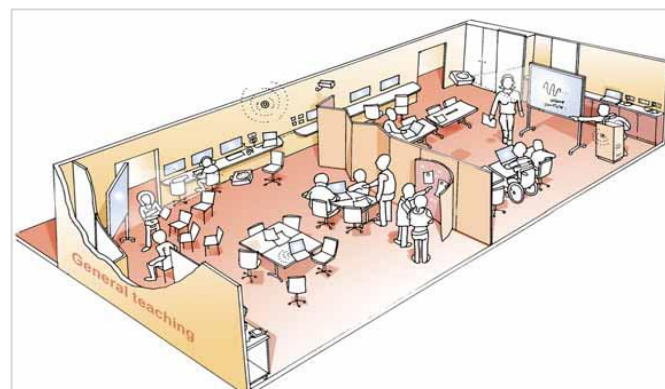


FIGURE 58 : VUE SUR L'ETAGE PRESENTE DES CONCEPTIONS PROTOTYPES POUR DEUX ESPACES D'ENSEIGNEMENT ; SOURCE : AMA ALEXI MARMOT ASSOCIATES

- a. Rangement verrouillable avec station de recharge pour tablettes sans fil
- b. Tableau blanc
- c. Récepteur pour dispositifs de vote
- d. Prises électriques
- e. Tableau interactif mobile
- f. Pupitre avec panneau de contrôle pour l'éclairage et les prises d'alimentation/réseau
- g. Ordinateurs filaires
- h. Tables pliantes
- i. Chargeur pour dispositifs de vote
- j. Cloison acoustique pliante/glissante
- k. Surface/partition magnétique autoportante
- l. Point d'accès sans fil (hub sans fil)
- m. Chaises empilables
- n. Vidéoprojecteur suspendu au plafond
- o. Équipement de visioconférence

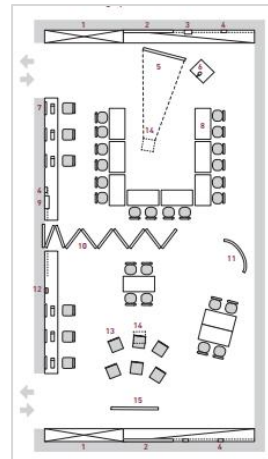


FIGURE 59:PLAN D'ETAGE PRESENTE DES CONCEPTIONS PROTOTYPES POUR DEUX ESPACES D'ENSEIGNEMENT ; SOURCE : AMA ALEXI MARMOT ASSOCIATES

V.6.5 Manière d'organisation :

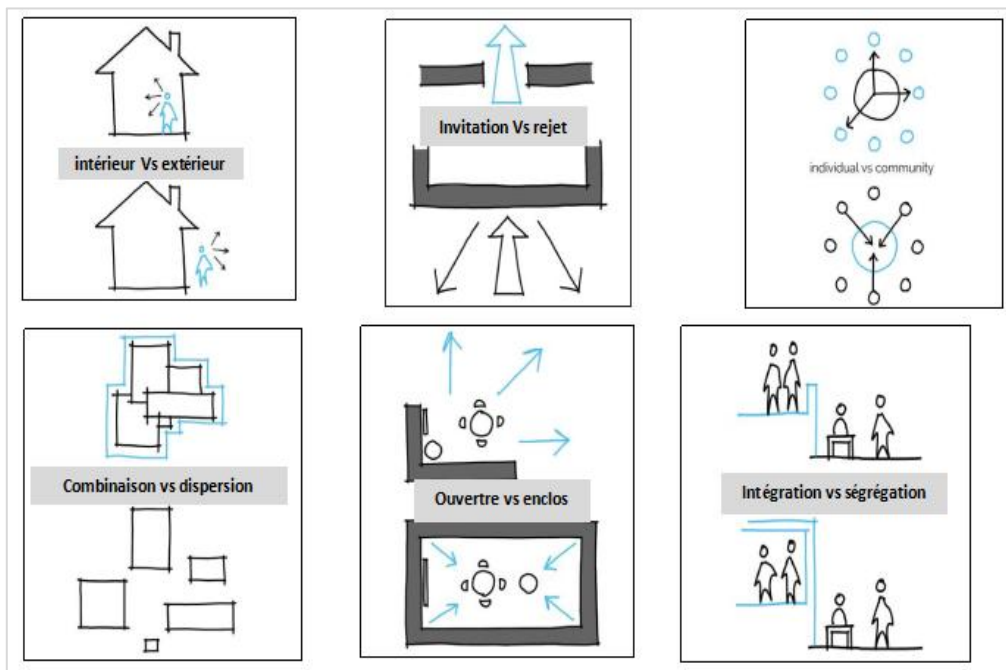
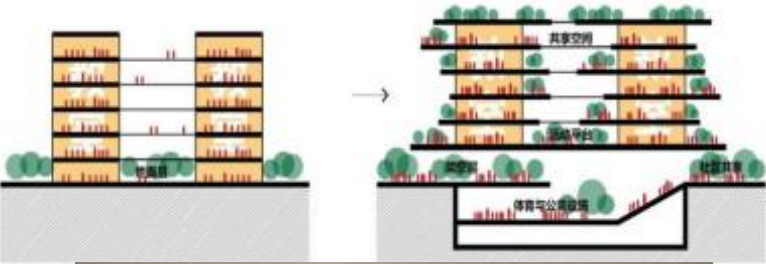
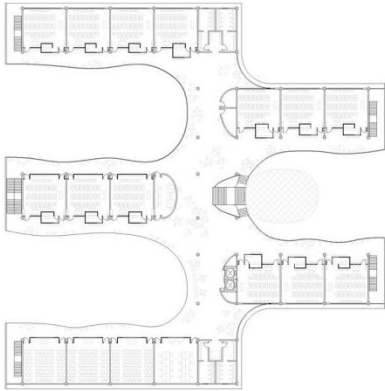


FIGURE 60:PLAN D'ETAGE PRÉSENTE DES CONCEPTIONS PROTOTYPES POUR DEUX ESPACES D'ENSEIGNEMENT ; SOURCE :SPACE PLANNING BASICS

VI. Analyse des exemples : Éco quartier

Exemple 01 : Éco quartier GINKO		
Fiche technique	Implantation urbaine	Volet environnemental
Nom de projet : Ginko Type d'équipement : Écoquartier intégrant des logements, commerces, équipements publics et espaces verts Date : 2014 Localisation : Nord de Bordeaux, entre les berges du lac de Bordeaux et le boulevard Aliénor d'Aquitaine Surface : Environ 32,6 hectares Capacité : 2 717 logements prévus, dont 33,8 % de logements locatifs sociaux Environ 70 000 m² dédiés aux activités tertiaires et commerciales	Représente un territoire de 32,30 hectares environ délimité par les berges du Lac de Bordeaux et l'avenue Dassault, l'avenue des Quarante journaux, et les immeubles de logements du Lauzun. Le secteur dit de Bordeaux Nord, ce territoire fait partie des secteurs stratégiques du projet d'agglomération. Forte Intégration sur le site  	- le recours à des matériaux sains, innovants, récupérés ou recyclés - La diversité des formes et des ambiances. - Penser a l'orientation et l'isolation des bâtiments pour profiter de - La chaleur du soleil en hiver et s'en protéger en été. - Dégager des vues et des ouvertures sur le paysage du Lac. - Réduire les besoins et les factures énergétiques. Mixité fonctionnelle : Conçu sous le signe de la mixité, Ginko mêle logements, commerces, espaces multisports et équipements publics. Cette diversité d'usages favorise une animation continue du quartier et une cohésion sociale renforcée  

VII. Analyse des exemples : Learning spaces

Exemple 01 : JingLong elementary school			
Fiche technique	Implantation urbaine	Volet environnemental	Volet architectural
Nom de projet : JingLongelementaryschool Type de projet : Établissement scolaire primaire Date : 2022 Localisation : Shenzhen, Chine Surface du site : 9173.91 m² Surface du site : 29661.53 m² Hauteur du bâtiment : 23.95 m² Capacité : 36 classes	L'école est située dans le district central de Futian à Shenzhen, entourée de bâtiments résidentiels de grande hauteur. Le site compact a nécessité une conception verticale pour maximiser l'utilisation de l'espace disponible.    	1. Ensoleillement : Des espaces semi-extérieurs au centre de chaque étage permettent une utilisation optimale de la lumière naturelle tout en offrant des zones ombragées pour les activités en plein air. 2. Ventilation naturelle : Les espaces ouverts sans murs d'enceinte favorisent une circulation naturelle de l'air, améliorant ainsi le confort thermique. 3. Végétation et espaces verts : Des treillages en treillis métallique sur les balustrades permettent aux plantes grimpantes de couvrir les façades, contribuant à l'isolation thermique et à l'intégration paysagère.    	Intégration d'Espaces Extérieurs : Le bâtiment intègre des espaces extérieurs à chaque niveau. Fonctionnalité des Espaces Centraux : Ces espaces centraux semi-ouverts servent de cours de récréation couvertes et de salles de classe en plein air, favorisant l'interaction et l'apprentissage collaboratif entre les élèves. Disposition des Salles de Classe : Les salles de classe sont disposées autour des espaces centraux, créant une circulation fluide et une connexion visuelle entre les différents niveaux. Réponse aux Contraintes du Site : La conception verticale répond aux contraintes du site tout en maximisant l'utilisation de l'espace disponible. Environnement Éducatif Dynamique : La conception offre un environnement éducatif dynamique et adaptable, capable de s'ajuster aux besoins changeants des élèves et des enseignants.   

Synthèse :

Dans ce chapitre, nous avons approfondi notre compréhension des notions liées à l'environnement ainsi qu'aux spécificités de notre projet, axé sur les Learning Spaces. L'architecture bioclimatique y est abordée comme une approche permettant d'assurer le confort des usagers, de favoriser l'efficacité énergétique et de préserver l'environnement.

Les recommandations tirées de la recherche thématique et de l'analyse des exemples de projets serviront de base pour établir les premières orientations conceptuelles de notre projet, en réponse aux contraintes spécifiques du site, qui seront développées dans le chapitre suivant.



CHAPITRE 3

Cas d'étude



I. Introduction :

S'appuyant sur le cadre théorique établi par l'état des connaissances, ce chapitre se consacre à une étude de cas approfondie centrée sur la ville de Boufarik. L'objectif principal est double : d'une part, appliquer et évaluer les concepts théoriques développés précédemment ; d'autre part, analyser un cas concret qui illustre la thématique de recherche et permet de répondre à la problématique centrale. Pour élaborer le processus conceptuel de notre projet architectural à Boufarik, une approche globale est nécessaire. Elle dépasse les seules considérations techniques et fonctionnelles en intégrant les dimensions sociales, culturelles, environnementales et historiques. Notre démarche combine ainsi une analyse approfondie des éléments contextuels liés à la ville et au site d'intervention avec une conceptualisation à deux échelles : urbaine (éco quartier) et architecturale (équipement éducatif). L'objectif est de proposer un aménagement qui réponde aux besoins des habitants, reflète l'identité locale, s'intègre harmonieusement dans le tissu urbain existant et contribue au développement durable de la ville, tout en assurant une intégration harmonieuse avec l'environnement et en répondant aux contraintes spécifiques du site. Ce chapitre comporte donc deux parties : une analytique et une conceptuelle.

II. Présentation de la ville :

I.1. Situation géographique de la ville :

Boufarik est située à l'extrême Nord de Blida. Cette position permet au territoire de Boufarik de s'occuper une zone dans la plaine de Mitidja et plus précisément au centre, cette entité constitue un patrimoine agricole par excellence pour le pays. -Elle abrite aussi la base aérienne militaire. Elle est limitée : Au nord par Tassala El Merdja (wilaya d'Alger). Au Sud par Soumaa, Guerrouaou et Bouinan. Au Nord-Est par oued Chebel. Au Sud-ouest par Beni-mered. A l'Est par Chebli. A l'Ouest par Ben Khelil.

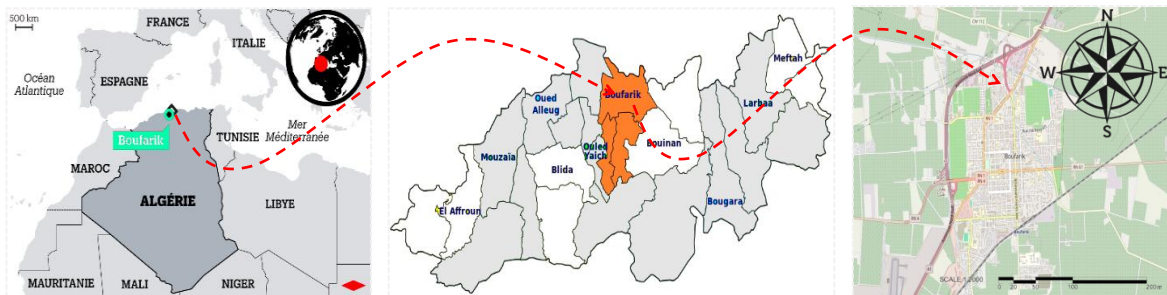
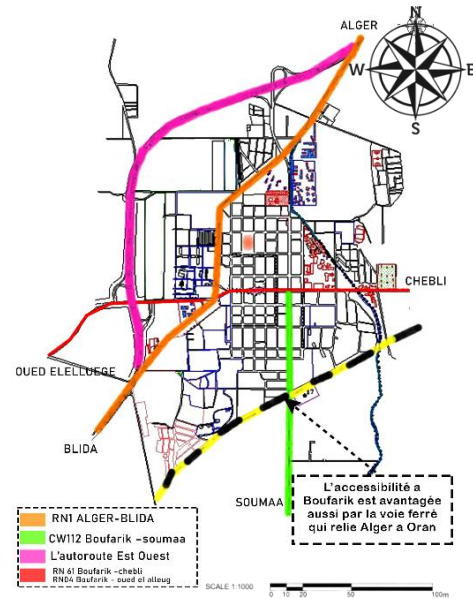


FIGURE 61 : SITUATION DE BOUFARIK EN ALGERIE, BLIDA. SOURCE : GOOGLE IMAGE

I.2 Accessibilité :

Boufarik est principalement desservie par les réseaux suivants :

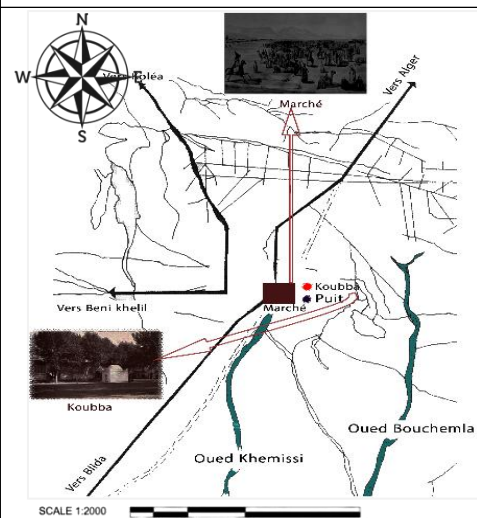
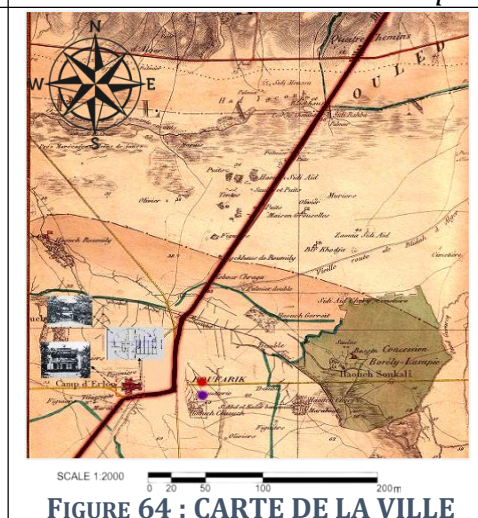
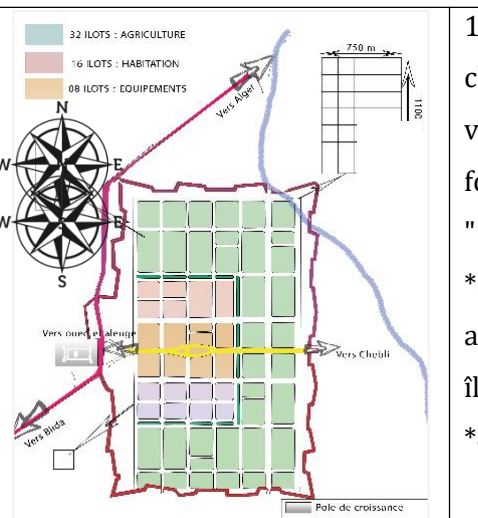
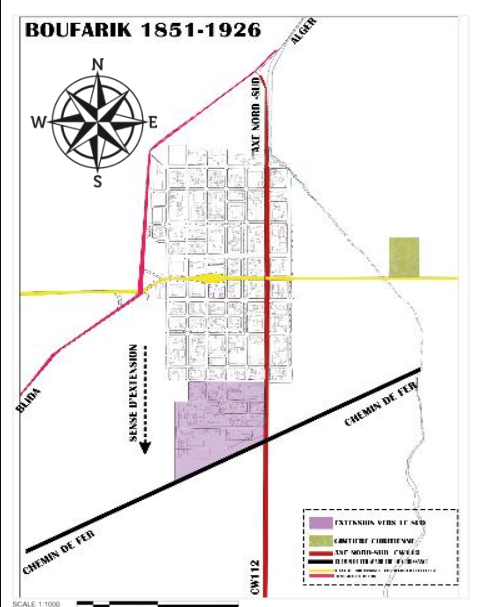
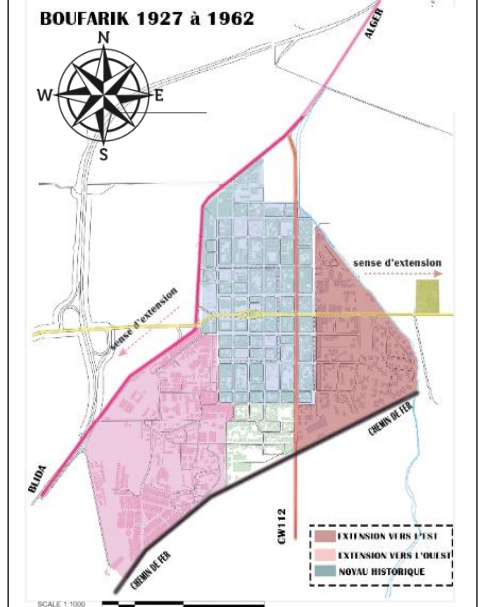
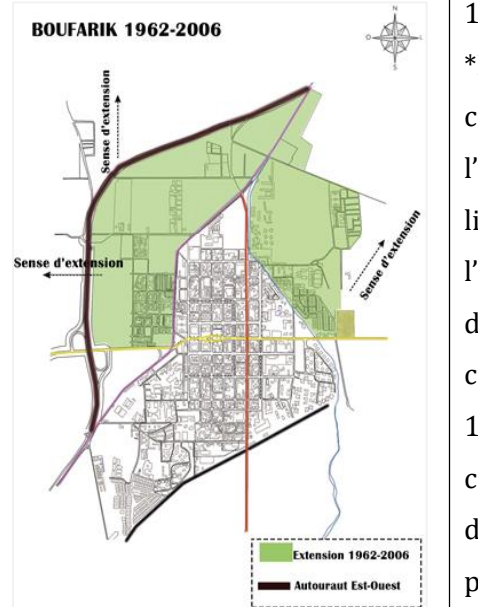
- *La RN1 qui relie Alger à Blida.
- *La RN 61 relie Chebli à Boufarik et pour aller Boufarik à Oued elalleug on passe par la RN4.
- * le CW112 relie Boufarik à Soumaa
- *l'autoroute est-ouest.
- * Voie ferré qui relie Alger à Oran



**FIGURE 62 : CARTE DE
L'ACCESSIBILITÉ DE BOUFARIK.
SOURCE : POS TRAITÉE PAR AUTEURE**

III. Analyse urbaine de la ville : processus de formation et de transformation

III.1 Analyse diachronique :

1. Avant 1830 :  FIGURE 63 : CARTE DE LA VILLE BOUFARIK AVANT 1830 ; SOURCE : RAPPORT DE PDAU	La ville de Boufarik n'est marquée que par : oued Khemissi et oued Bouchemla et la route reliant ALGER-Blida. Un puits et un vieux dôme où se rencontrent les commerçants. Ainsi que le très important marché installé depuis le 15-ème siècle, qui représentait le point des échanges commerciaux les plus importants de la région.	2. Du 1830 à 1835 « Implantation du Camp d'Erlon » :  FIGURE 64 : CARTE DE LA VILLE BOUFARIK AVANT 1830 ; SOURCE : RAPPORT DE PDAU	1830 : il ne s'agissait que d'un poste de contrôle. 5 Mars 1835 : prise de la décision de l'implantation d'un camp permanent : Le Camp d'Erlon, sous la direction du colonel LEMERCIER. Sa position qui permet de dominer et contrôler la plaine de la Mitidja, fut de cet endroit un lieu stratégique pour l'implantation d'un camp militaire.	3. En 1837 « Élaboration d'un plan d'urbanisme » :  FIGURE 65 : SCHÉMA DE NOYAUX COLONIAL ; SOURCE : PDAU DE BOUFARIK	1837 : le génie militaire est chargé d'établir un tracé de la ville, le plan se caractérise par : la forme : rectangle en damier "1100*750" comprenant : *32 îlots pour l'agriculture mais aussi pour future extension *16 îlots pour l'habitation *8 îlots pour les équipements.
5. Extension de la ville :  FIGURE 66 : CARTE DE LA VILLE BOUFARIK 1926 ; SOURCE : PDAU DE BOUFARIK, TRAITÉ PAR L'AUTEUR	*1852 : la création du cimetière de l'est. * 1862 : -l'avènement du chemin de fer et la construction de la gare *Destruction des remparts *Consolidation de l'axe Nord-Sud reliant la gare à la ville. *1862_1926 : l'extension de la ville vers le Sud, se limitera à la barrière artificielle qui est le chemin de fer.	6. Du 1927 à 1962 :  FIGURE 67 : : CARTE DE LA VILLE BOUFARIK 1945 ; SOURCE: PDAU DE BOUFARIK, TRAITÉ PAR L'AUTEUR	*1927 : L'extension de la ville vers l'Est et le Sud-ouest, mais sera limitée par les deux barrières naturelles : oued Chemise et oued Bouchemla *1954_1962 : n'apparaissent que quelques constructions à l'Est et l'Ouest	7. Après l'indépendance :  FIGURE 68 : CARTE DE BOUFARIK 2025 ; SOURCE : PDAU DE BOUFARIK, TRAITÉ PAR L'AUTEUR	1962-1992 : *Le développement de l'habitat collectif s'oriente vers le nord et l'ouest. Cette expansion est limitée par : la voie ferrée et l'oued Bouchemla, qui constituent de véritables barrières à la croissance urbaine. 1999-2025 : construction non planifiée qui dépasse les anciennes limites physiques et franchit l'ensemble des barrières précédemment contraignantes.

Synthèse de la croissance :

1. Croissance initiale: la première phase de croissance se déroule à l'intérieur des remparts de la ville, adoptant un modèle semi-concentrique puis linéaire.
2. Impact de chemin de fer: chemin de fer entraîne la destruction des remparts, orientant la croissance vers le sud, où la voie ferrée devient une nouvelle barrière de développement.
3. Expansion vers l'est et l'ouest: Une fois le chemin de fer établi, l'expansion s'oriente vers l'est (Oued Bouchemla) et l'ouest (RN1, Oued Khemessi), créant ainsi de nouvelles barrières de croissance.
4. Franchissement des barrières: La croissance continue à surmonter ces obstacles, avec l'autoroute devenant la seule barrière au nord et à l'ouest.

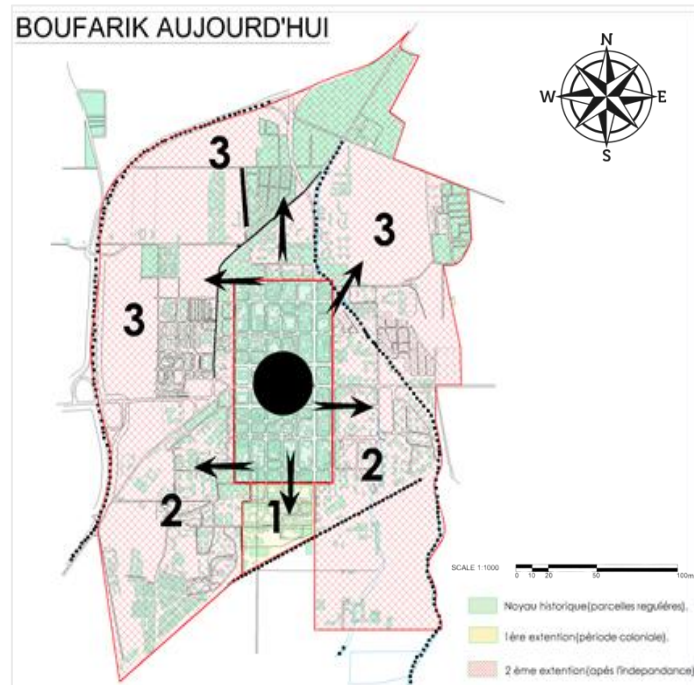


FIGURE 69 : CARTE DE SYNTHÈSE DE CROISSANCE;
SOURCE : PDAU DE BOUFARIK

5. Développement anarchique actuel: Aujourd'hui, il n'existe plus de barrières significatives car l'autoroute a été franchie, entraînant un développement désordonné

III.3. Analyse morphologique de la ville selon les 4 systèmes :

a. Système viaire :

La ville de Boufarik est structurée selon trois axes importants :

*Un axe territorial : L'axe route nationale n°01

*Deux avenues : Avenue Souidani (Nord Sud et l'avenue Allili (Est Ouest) la structure viaire est composée de trois types de système viaire :

*Le système en résille (plan en damier) : C'est une trame régulière orthogonale, ce système figure dans le centre historique de la ville.

*Le système en fausse résille : Ce système résulte de la déformation du système en résille, il figure dans les parties Sud - Ouest, Est et Nord de la ville. *Le système en boucle : Il se caractérise par le fait qu'il y a deux chemins pour aller d'un point à un autre. Ce système se trouve dans les groupements d'habitat collectif au Sud - Est de la ville et au Sud - Ouest



FIGURE 70 : CARTE DE SYSTEME VIAIRE A BOUFARIK ; SOURCE : PDAU DE BOUFARIK, TRAITE PAR L'AUTEUR

➤ Les trois types de systèmes viaire:

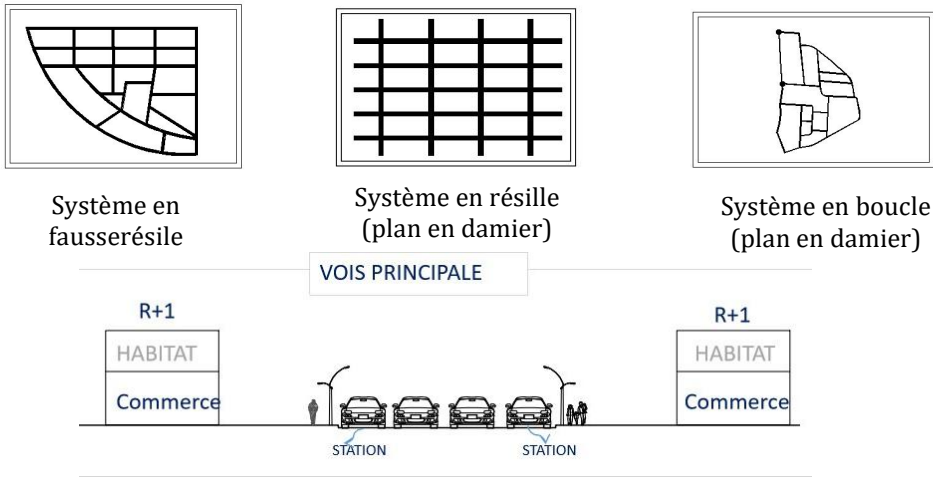


FIGURE 74 :COUPE SUR UNE VOIE PRINCIPALE ; SOURCE : TRAITÉ PAR L'AUTEUR

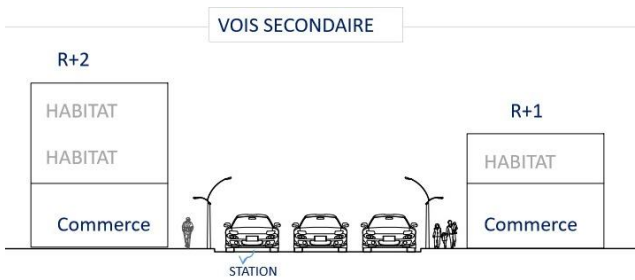


FIGURE 71 :COUPE SUR UNE VOIE SECONDAIRE ;
SOURCE : TRAITÉ PAR L'AUTEUR

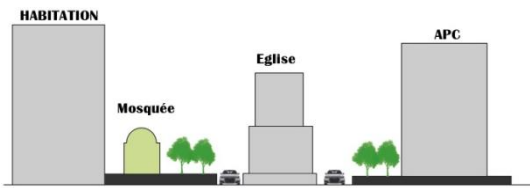


FIGURE 72 :COUPE SUR LA PLACE DU
L'EGLISE ; SOURCE : TRAITÉ PAR
L'AUTEUR

II.3.2 Système parcellaire :

- *La trame urbaine de centre historique se caractérise par un tracé en damier.
- *Les nouvelles zones d'extension qui ont évolué autour du centre historique tendent à être plus dispersées et moins structurées
- *Une partie des extensions de Boufarik s'apparentent à un prolongement des rues du centre historique.
- *Le tissu contient 3 formes d'ilots : le carré, le rectangle et le trapézoïdale qui sont destinés à l'habitation.
- *on distingue que le parcellaire, au tissu colonial, est structuré par des voies orthogonales. Ce type de parcellaire a engendré un tissu urbain homogène avec une structure urbaine claire.
- *le système parcellaire au tissu post colonial est non structuré, il n'y a pas une relation entre les autres systèmes composants le tissu.

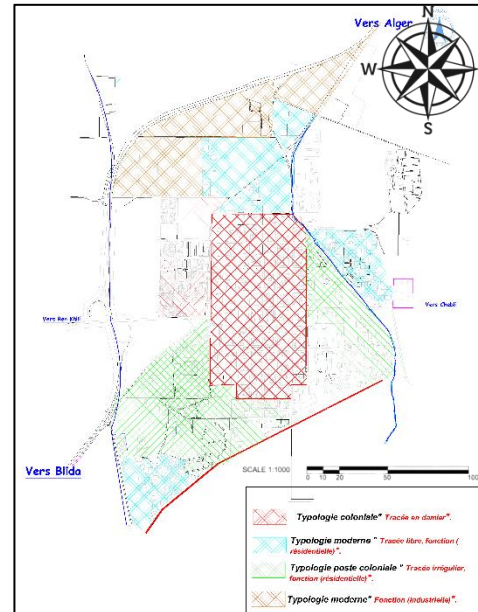


FIGURE 73 : CARTE DE SYSTÈME PARCELLAIRE À BOUFARIK ; SOURCE : PDAU DE BOUFARIK, TRAITÉ PAR L'AUTEUR

II.3.3 Système bâti :

- *Le bâti présente une continuité par accollement des constructions les unes aux autres le long des rues, constituent une continuité linéaire au niveau du noyau colonial.
- * Par contre les équipements importants mis en scène urbaine sont localisés de façon à créer et renforcer la ponctuation des parcours et faciliter leurs repérages
- *variété de typologie : Collectif 12%, Semi collectif 0.1%, Individuel 21%, Équipement 24%

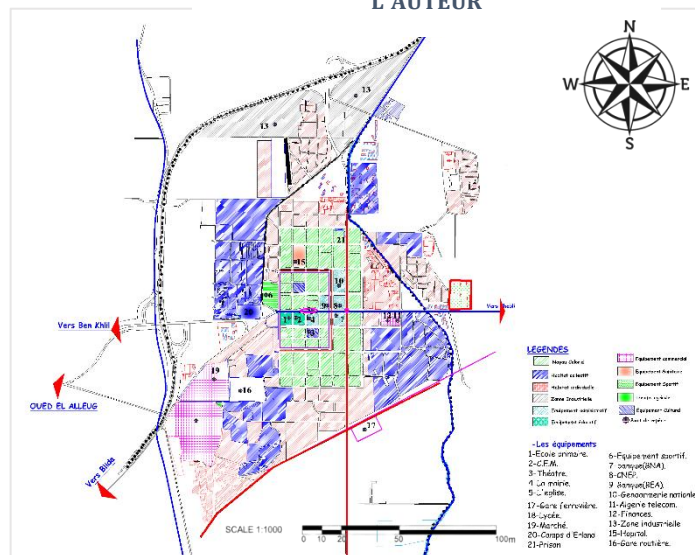


FIGURE 74 : CARTE DE SYSTEME BATI A BOUFARIK ; SOURCE : PDAU DE BOUFARIK, TRAITE PAR L'AUTEUR

- * Le collectif qui se trouve à proximité du centre historique « extensions »
- * l'individuel est dominant au centre historique
- * Les équipements sont de plusieurs types : Administratif 4%, Culturelle loisir 6% Éducatif 21 %, Santé 34%, Religion 4%, Sportif 5%,

industriel 23%, Touristique 2%.

II.3.4 Système non bâti :

*la plupart des espaces libres sont des terrains agricoles.

*Les places sont positionnées sur le parcours territorial.

*Pour l'habitat individuel : les espaces libres sont structurés suivant la hiérarchisation des voies.

*Pour l'habitat collectif : les espaces libres sont pas structurés non hiérarchisés et non déterminant.

* Manque des espaces verts, on remarque quelques espaces non structuré ou structurés et inaccessible.

* Les mobilier urbains existés sont ; quelques fontaines, des lampadaires et des bancs.

* Un marché qui existe depuis la colonisation française, occupé par 340 commerçants.

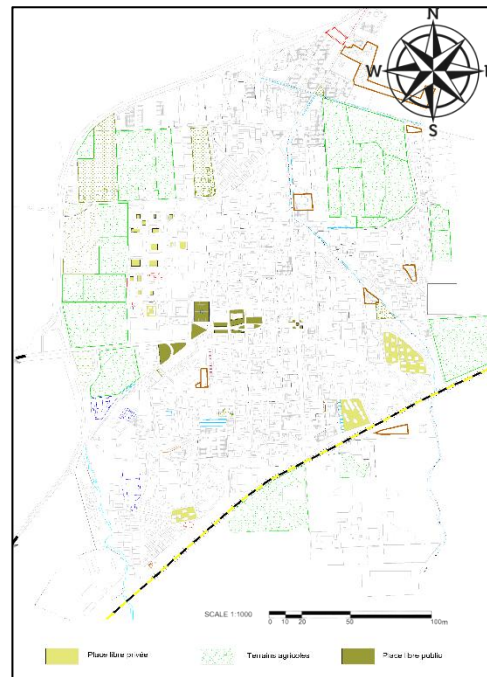


FIGURE 75 : CARTE DE SYSTÈME NON BÂTI À BOUFARIK ; SOURCE : PDAU DE BOUFARIK, TRAITÉ PAR L'AUTEUR

Synthèse :

Après l'indépendance, l'urbanisation s'est intensifiée de manière désorganisée. Aujourd'hui, la ville présente une structure mixte entre ancien tissu colonial (noyau historique) et les extensions récentes avec : un tissu bâti varié, un manque d'espaces verts et un mobilier urbain peu développé.

III.3. Analyse de la zone d'intervention :

III.3.1. Situation :

Notre air d'étude est localisé à l'extrême ouest de la ville de Boufarik, avec l'autoroute Est-ouest qui constitue sa limite physique. D'une superficie de 22.1 hectares.



FIGURE 77 : CARTE DE LA VILLE BOUFARIK ; SOURCE : GOOGLEEARTH

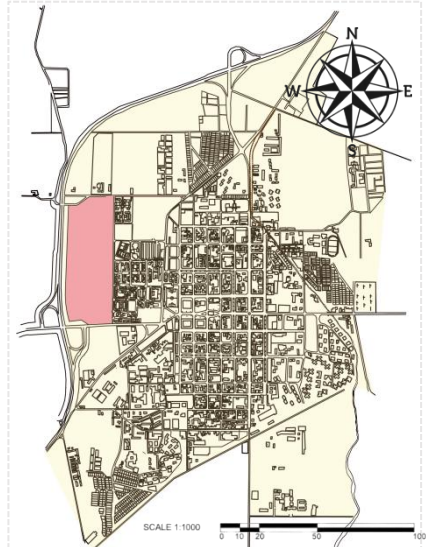


FIGURE 76 : CARTE DE LA VILLE BOUFARIK ; SOURCE : PDAU DE BOUFARIK

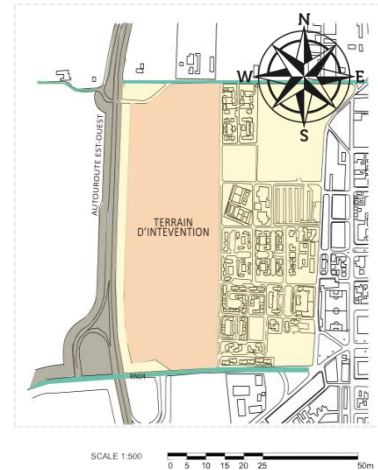


FIGURE 78 : CARTE DE TERRAIN D'INTERVENTION ; SOURCE : POS N°1

III.3.2. Analyse morphologique :

a. Système viaire :

La zone d'étude est traversée par un réseau de voies. Ce réseau est structuré selon une hiérarchie, comme suit :

- Réseaux primaires : comprenant l'ex Autoroute Est-Ouest, le Chemin de wilaya 12, la Route National n 04 et la Route National n 01
- Réseaux secondaires : constitué d'un boulevard important
- Réseaux tertiaires : constitué de voie de liaison entre les îlots



FIGURE 79 : CARTE DE STRUCTURE VIAIRE AUTOUR DE SITE ; SOURCE : OPENSTREETMAP TRAITEE PAR AUTEUR

b. Système bâti :

**Structure fonctionnelle :*

La partie Est du site est occupée par des habitats collectifs récents et d'autres, accompagnés d'équipements tel que l'école primaire, lycée, tribunal et centre des impôts...etc.). Les autres côtés sont caractérisés par des exploitations agricoles, incluant des habitats individuels. Le terrain est marqué par une végétation composée d'arbustes et d'espèces herbacées. Des serres agricoles se trouvent à la limite Ouest du site



FIGURE 80 : CARTE DE STRUCTURE FONCTIONNELLE AUTOUR DE SITE ; SOURCE : OPENSTREETMAP TRAITEE PAR AUTEURE

c. Système non bâti :

A zone d'intervention se caractérise par la présence des espaces libre abandonnées, ainsi que des terrains agricoles à proximité du terrain d'intervention.



FIGURE 81 84 : CARTE DE SYSTEME NON BATI AUTOUR DE SITE ; SOURCE : OPENSTREETMAP TRAITEE PAR AUTEURE

d. Système parcellaire :

Le système parcellaire est le résultat de la trame viaire, donc il est presque régulier, variant entre des formes carrées et rectangulaires.

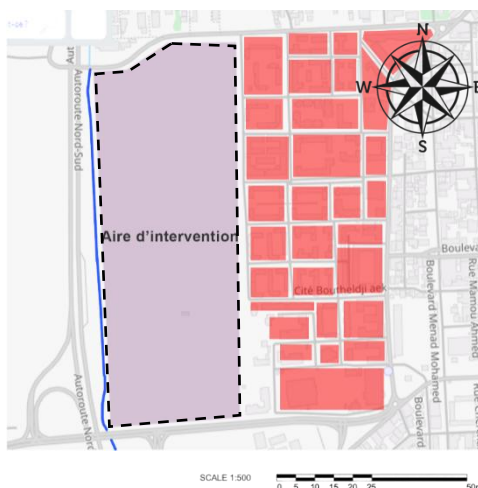


FIGURE 82 : CARTE DE SYSTEME PARCELLAIRE AUTOUR DE SITE ; SOURCE : OPENSTREETMAP TRAITEE PAR AUTEURE

III.4. Analyse SWOT :

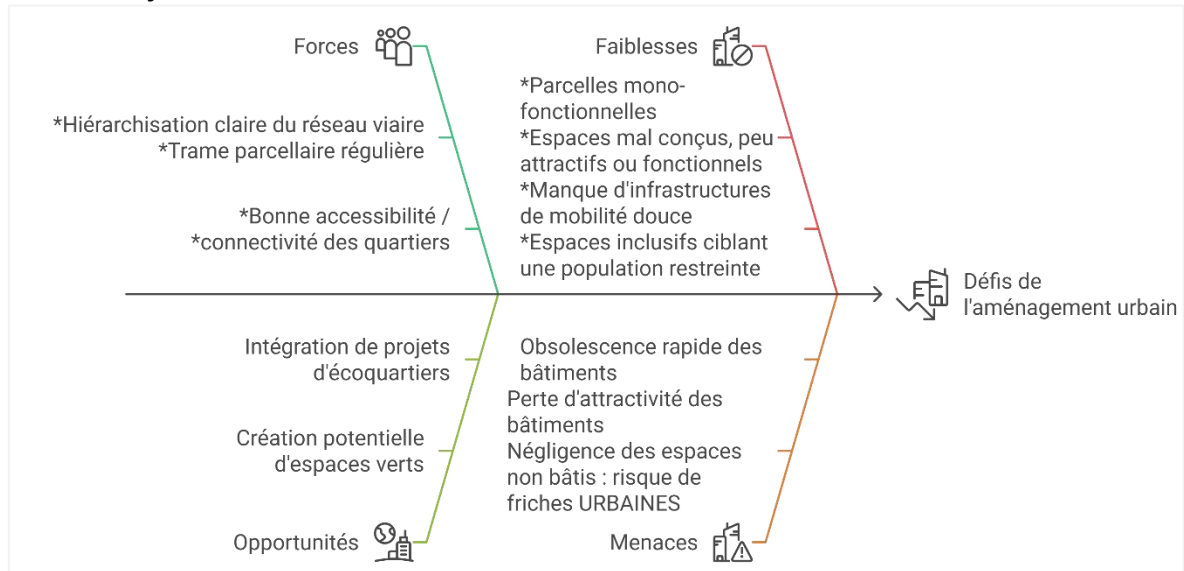


FIGURE 83 : SCHÉMA DE SWOT DE LA VILLE BOUFARIK; SOURCE : TRAITÉE PAR L'AUTEUR

III.5. Critique du POS 1 :

Le Plan d'Occupation des Sols (POS) n°1 de Boufarik concerne l'extension Ouest de l'agglomération, une zone urbanisée récemment (1990-2000) et située au Nord-Ouest du centre historique, s'étendant de l'ex-Route Nationale N°1 à l'autoroute Est-Ouest.

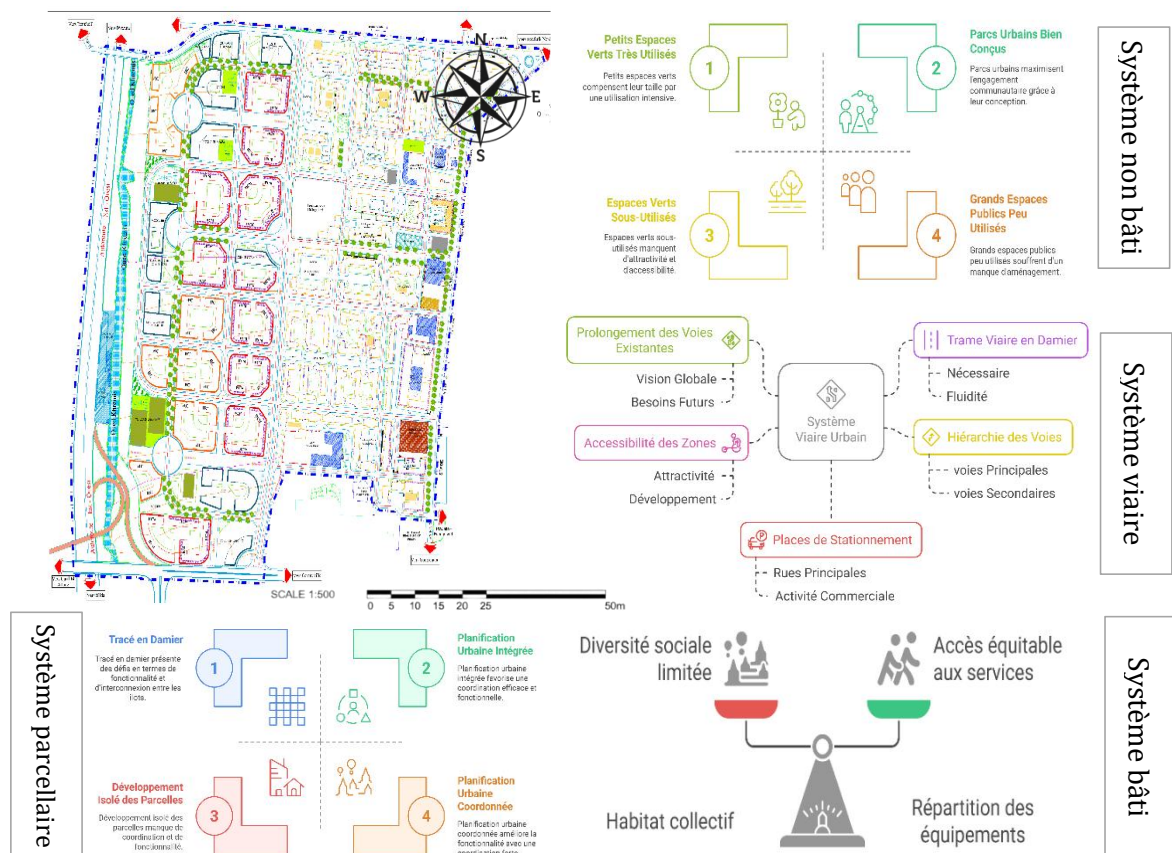


FIGURE 84 : SCHEMA REPRESENT LE CRITIQUE DU POS UTILISANT L'ANALYSE SYNCHRONIQUE SOURCE : TRAITÉE PAR L'AUTEUR

Synthèses : recommandations et principes urbains d'aménagement

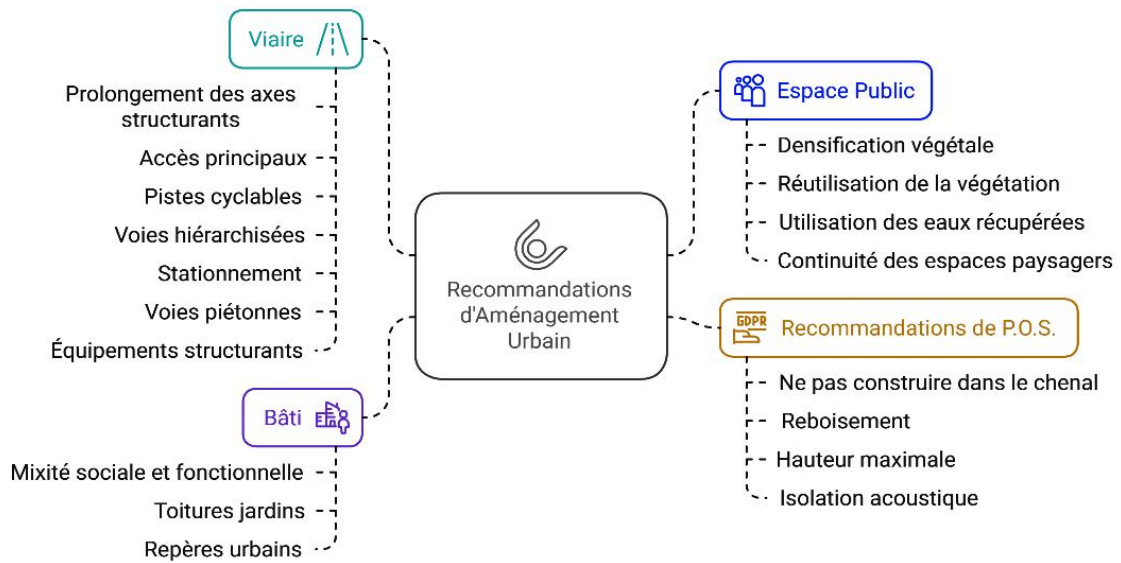


FIGURE 85 : SCHÉMA REPRÉSENTE LES RECOMMANDATIONS ET PRINCIPES D'AMÉNAGEMENT URBAIN; SOURCE: TRAITÉE PAR L'AUTEUR

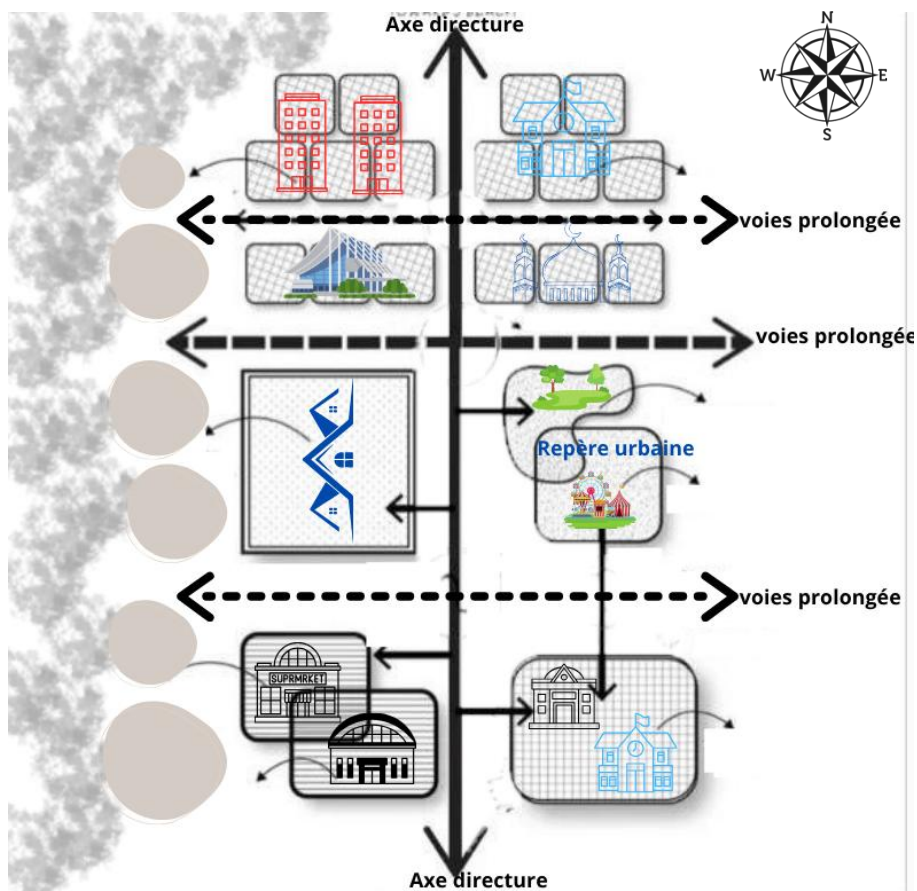


FIGURE 86 : SCHEMA DE PRINCIPES URBAIN ; SOURCE: TRAITÉE PAR L'AUTEUR

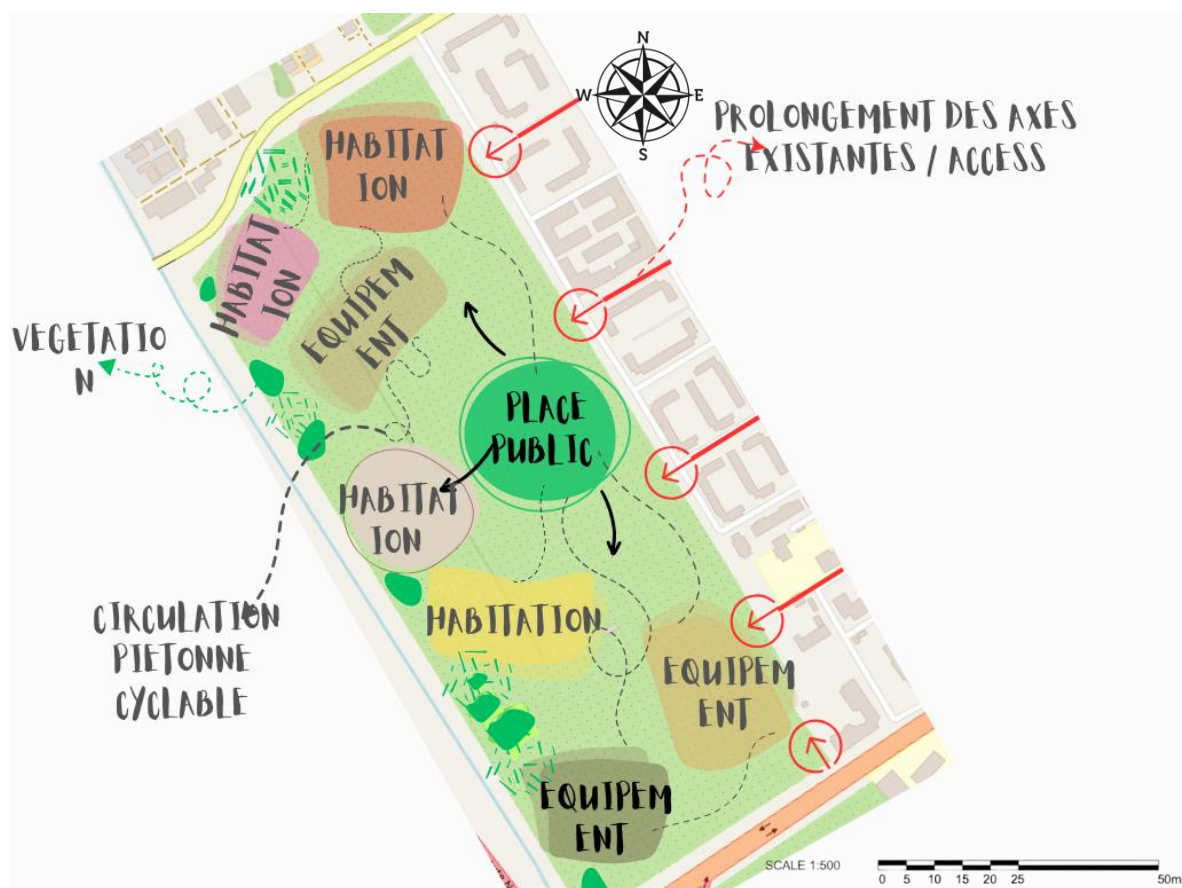
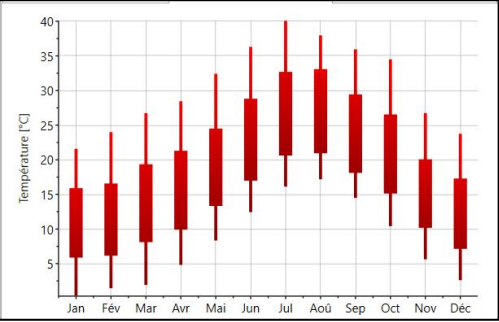
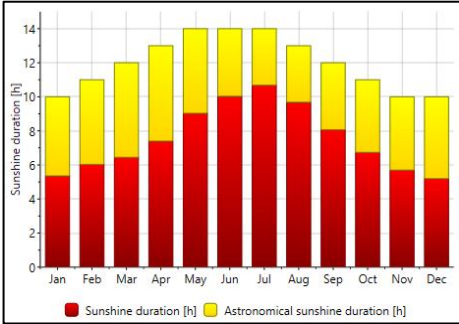
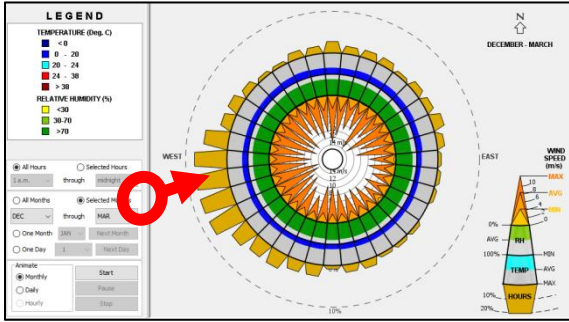
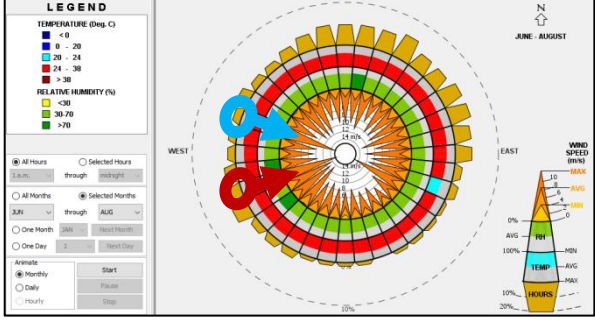
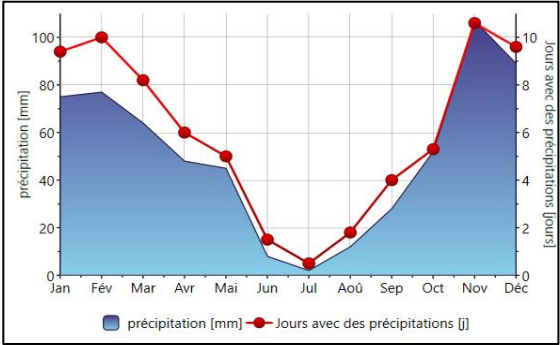
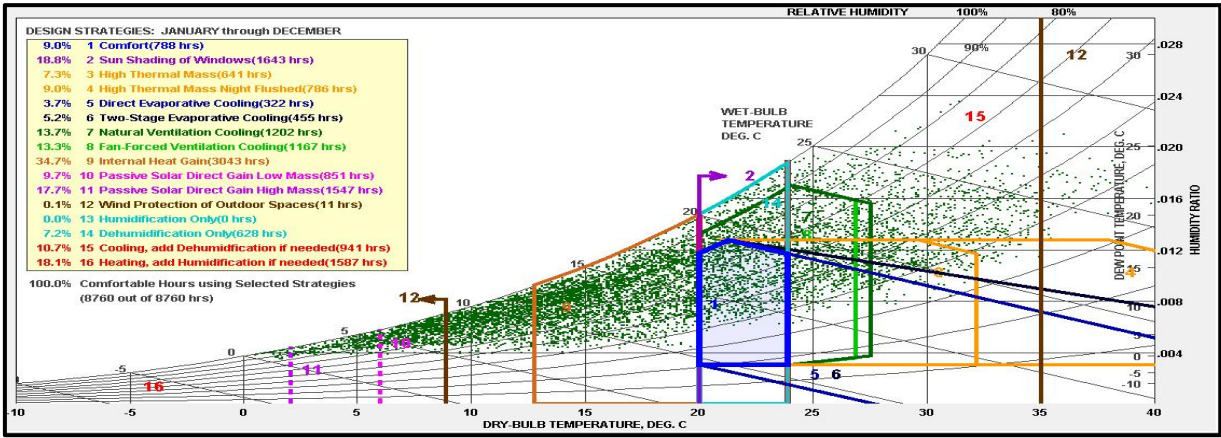


FIGURE 87 : SCHÉMA DE L'AMÉNAGEMENT URBAIN D'ÉCO QUARTIER ; SOURCE: TRAITÉE PAR L'AUTEUR

IV. Analyse environnementale :

IV.1. Analyse climatique à l'échelle de la ville :

Température	Durée d'ensoleillement	Vents hivernale	Vents estivale
 FIGURE 88 : EVALUATION DES TEMPÉRATURES A BOUFARIK ; SOURCE : METEOMORN 8	 FIGURE 89 : DUREE D'ENSOLEILLEMENT A BOUFARIK ; SOURCE : METEOMORN 8	 FIGURE 90 : ROSE DES VENTS HIVERNALE DE LA VILLE DE BOUFARIK ; SOURCE : CLIMAT CONSULTANT	 FIGURE 91 : ROSE DES VENTS ESTIVALE DE LA VILLE DE BOUFARIK ; SOURCE : CLIMAT CONSULTANT
Interprétation : La température maximale et minimale varie entre 32.5°C et 20°C pour les moins les plus chauds au mois (Juillet et Août) et entre 15°C et 6°C pour la période la plus froide (Janvier, Février, et décembre)	Interprétation : La ville de Boufarik bénéficie d'un bon ensoleillement. En été, la durée l'ensoleillement est maximal, elle dépasse les 10 h par jour en Juillet, tandis qu'en hiver il ne dépasse pas 6 heures en Janvier et Décembre.	Interprétation : Les vents dominants soufflent en direction de SUD-OUEST avec une vitesse maximale de 14m/s, et une vitesse minimale de 2m/s. Caractérisés par des vents frais et humides.	Interprétation : Les vents dominants soufflent en direction de SUD-OUEST et NORD-OUEST avec une vitesse maximale de 16m/s, et une vitesse minimale de 2m/s. Caractérisés par des vents chauds et humides.
La précipitation	Diagramme de GIVONI		
 FIGURE 92 : EVALUATIONS DES PRÉCIPITATIONS A BOUFARIK ; SOURCE : METEOMORN 8	 FIGURE 93 : DIAGRAMME DE GIVONI ; SOURCE : METEOMORN 8		
Interprétation : La saison hivernale, la précipitation élevés : 100mm pour 10jours en Novembre. La saison estivale, la précipitation faible : 5 mm pour quelques heures en Juillet	Interprétation : A partir Le diagramme de Givoni, nous pouvons constater l'existence de trois zones dans notre site : La zone de confort où caractérisées par une température qui varie entre 20°C et 24°C, durant les mois de juin, septembre et octobre. Donc notre projet se trouve dans la zone de confort sans la nécessiter d'une intervention architecturale. La zone de sous-chauffe les températures varie entre -3°C et 20°C dans la période hivernale comme : Janvier, février, mars / La zone de surchauffe dans cette zone les températures varie entre 24°C et 35°C sont dans la période estivale comme : Juillet, Août.		

Synthèse :

Boufarik présente un climat méditerranéen caractérisé par des étés chauds et secs, et des hivers doux et humides. L'ensoleillement y est globalement favorable, les vents sont présents toute l'année, et les précipitations se concentrent principalement en hiver. Sur le plan bioclimatique, des périodes de confort thermique sont identifiées au printemps et à l'automne, tandis que des risques de surchauffe estivale et de sous-chauffe hivernale exigent des réponses architecturales adaptées.

IV.2. Analyse climatique à l'échelle du site et de l'environnement immédiat :

Le site est ensoleillé tout le long de l'année l'ombre des constructions existantes n'ont pas d'influence sur le site

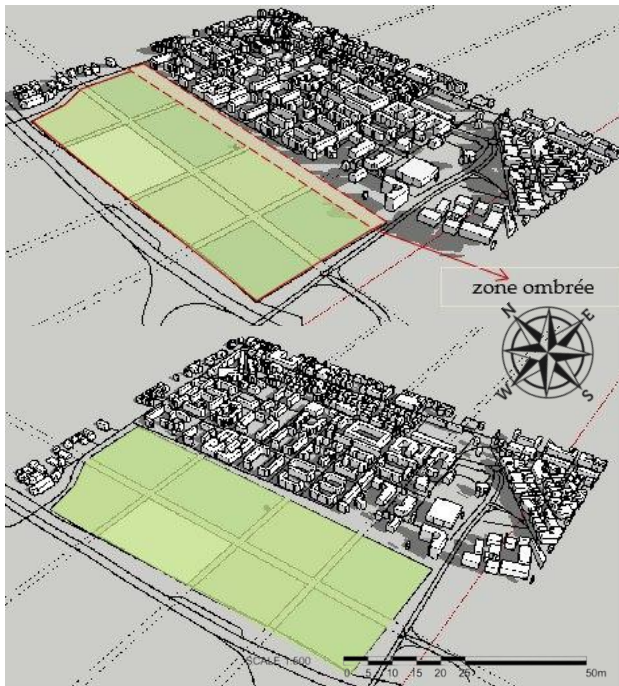


FIGURE 95 : CARTE D'OMBRE DU SITE,
SOURCE : SKETCHUP

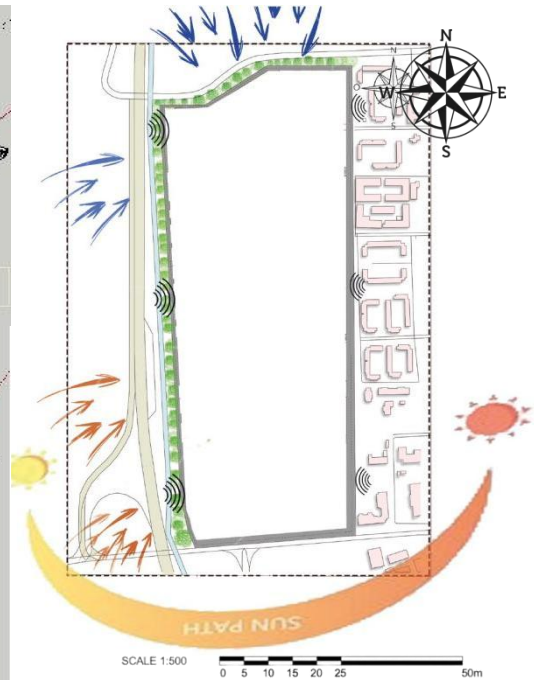
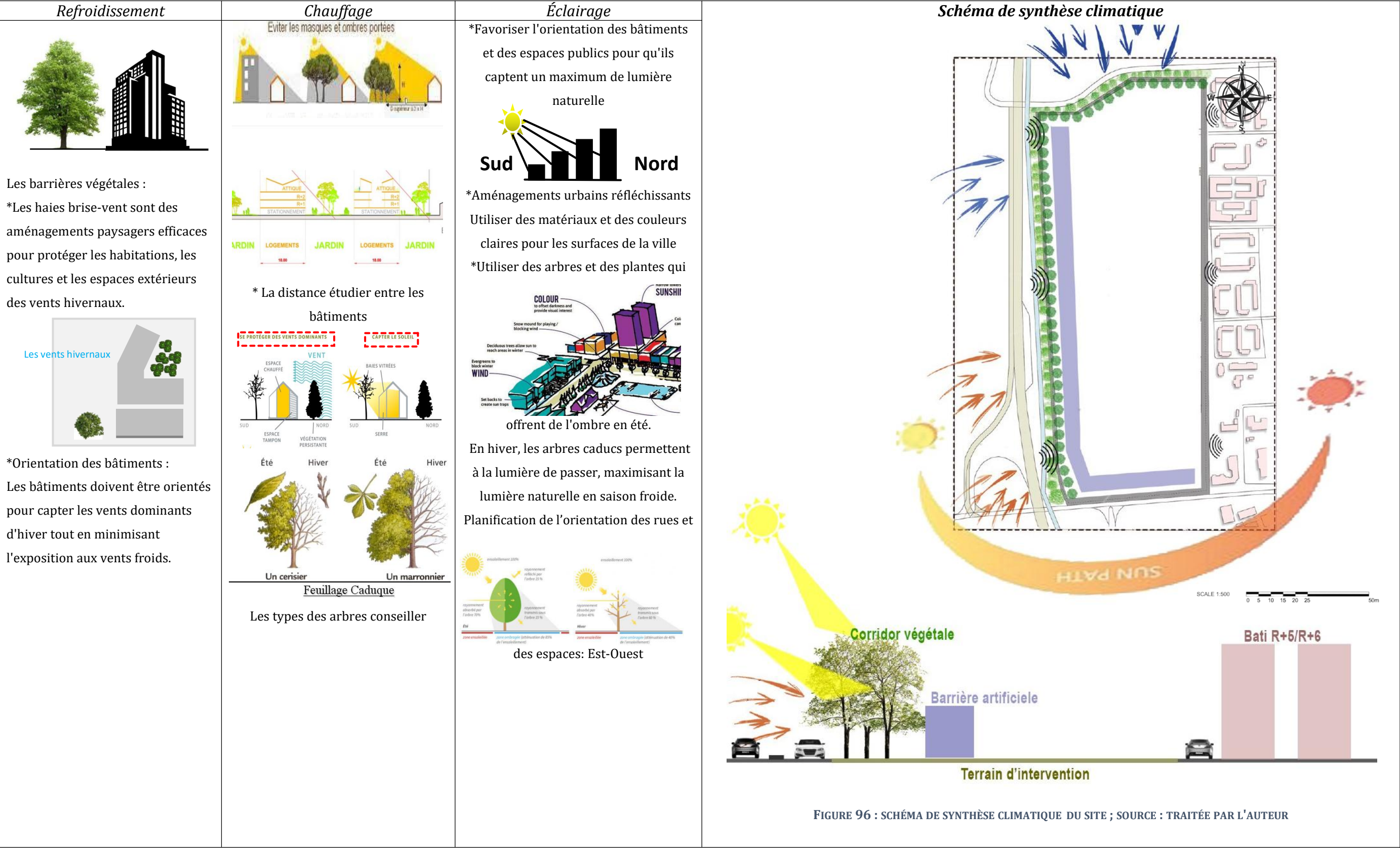


FIGURE 94 : CARTE DE CONTRAINTES
CLIMATIQUE DU SITE, SOURCE: TRAITE
PAR L'AUTEUR

Synthèse : recommandations et principes climatique



IV.3. La mobilité douce :

Dans une démarche de durabilité et de qualité de vie, l'éco quartier privilégie la mobilité douce en réorganisant la hiérarchie des circulations.

*La circulation mécanique est strictement limitée à la périphérie de l'écoquartier, réduisant ainsi les nuisances sonores, la pollution et les conflits entre usagers.

*À l'intérieur du quartier, l'espace public est entièrement dédié aux piétons et aux cyclistes, favorisant les déplacements actifs, la convivialité et la sécurité. Des chemins piétonniers arborés, des pistes cyclables sécurisées, et des mobilités partagées composent un maillage fluide et accessible.

*Les aires de stationnement sont concentrées en périphérie ou intégrées en sous-sol, libérant ainsi le sol pour les espaces verts et les rencontres de voisinage.

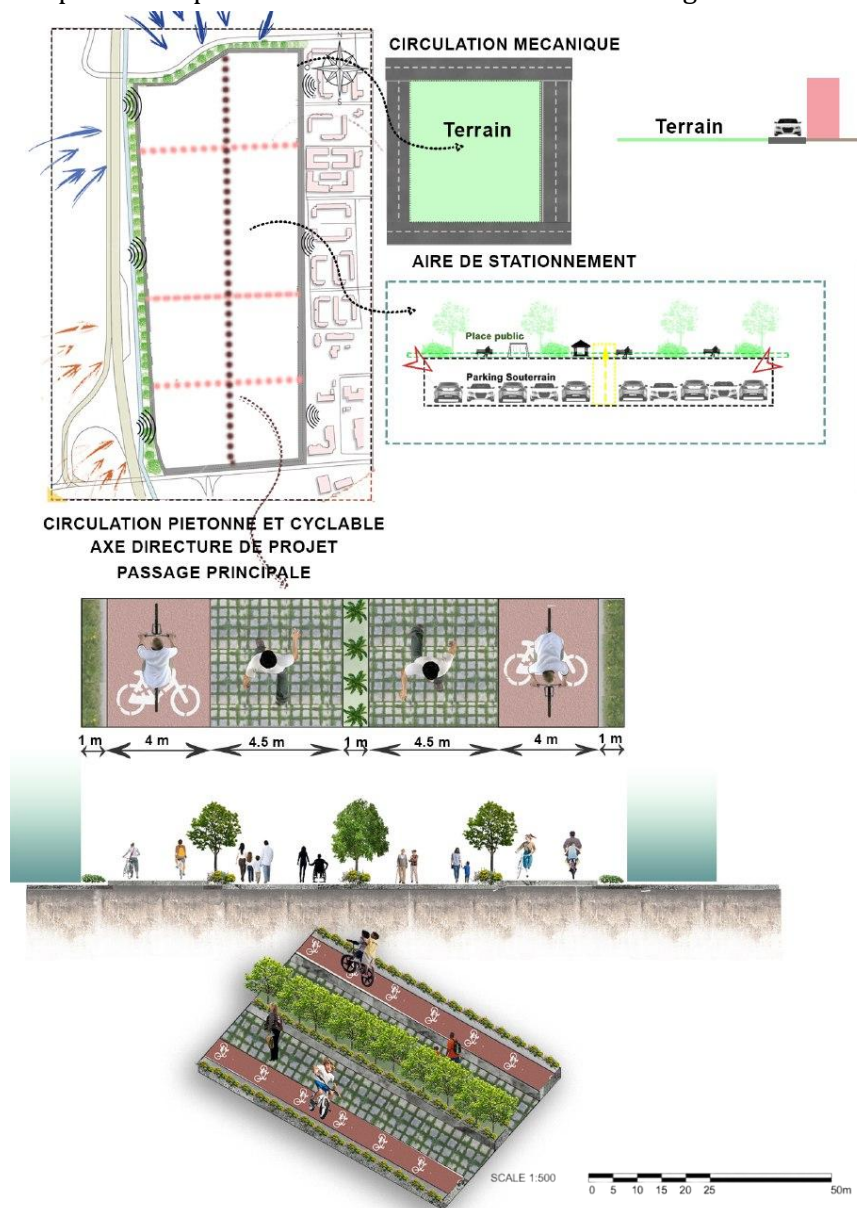


FIGURE 97: SCHÉMA REPRÉSENTE LA MOBILITÉ DOUCE DANS L'ÉCO QUARTIER ; SOURCE : TRAITÉE PAR L'AUTEUR

IV.4. végétation :

Dans notre zone d'intervention, on constate la présence de plusieurs platanes rongés, de pins délimitant le site, ainsi que d'arbres d'agrumes.

Donc on propose de préserver les plantes locales et de l'intégrer à l'aménagement des espaces verts, afin d'harmoniser notre éco quartier avec son environnement et l'inscrire pleinement dans la ville.



FIGURE 99 : DEFERENTS VEGETATIONS SUR SITE ; SOURCE : AUTEUR



FIGURE 98 CARTE DE VÉGÉTATION ; SOURCE : GOOGLE EARTH TRAITÉE PAR AUTEUR

IV.5. Gestion des déchets :

IV.5.1. Types de déchets dans un éco quartier :

1. Déchets organiques (biodéchets) : restes alimentaires, déchets de jardin.
2. Déchets recyclables : papiers, cartons, plastiques, canettes.
3. Verre
4. Déchets non recyclables (ordures ménagères résiduelles)
5. Déchets encombrants : meubles, appareils électroménagers.
6. Déchets dangereux : piles, batteries, produits chimiques (collecte ponctuelle).
7. Déchets électroniques (DEEE) : téléphones, ordinateurs, etc.



FIGURE 100: TRI SÉLECTIF ; SOURCE : VECTORSTOCK.COM/28207421

IV.5.2. Les points de collecte :

- *Points de collecte de proximité (ordures ménagères, tri sélectif, biodéchets) :
≤ 100 mètres à pied des habitations, idéalement tous les 50 à 80 mètres.
- *Colonnes à verre : tous les 150 à 200 mètres.
- * Déchèterie de quartier ou point de collecte encombrants/DEEE :
à moins de 1 km ou accessible en vélo/voiture partagée.



FIGURE 101 : LE POINT DE COLLECTE ; SOURCE : PINTREST

IV.5.3. Zones de compostages :

Les zones de compostage permettent de valoriser les déchets organiques (restes alimentaires, déchets verts) directement sur place. Elles sont implantées à proximité des habitations (tous les 100 à 150 mètres) pour encourager la participation des habitants.

On distingue généralement deux types :

- *Composteurs collectif
- *Composteurs individuels ou pédagogiques



FIGURE 102: COMPOSTEUR INDIVIDUEL; SOURCE: PINTREST



FIGURE 103: COMPOSTEUR COLLECTIF; SOURCE: PINTREST

IV.6. Gestion des eaux pluviales :

IV.6.1. Systèmes passifs :

- *Toitures végétalisées : absorbent une partie des pluies et ralentissent l'écoulement.
- *Jardins de pluie : espaces verts déprimés qui recueillent temporairement l'eau.
- *Pavés drainants : favorisent l'infiltration de l'eau directement dans le sol.



**FIGURE 106 : TOITURE VÉGÉTALISÉES, ILOT 4B À NANTES ;
SOURCE : PINTREST**



**FIGURE 105 JARDIN DE PLUIE ;
SOURCE : PINTREST**



**FIGURE 104 : PAVÉS DRAINANT ; SOURCE :
PINTREST**

IV.6.2. Systèmes actifs :

- *Cuves de récupération d'eau de pluie : stockent l'eau pour l'arrosage ou les sanitaires.
- *Canalisations régulées avec vannes : pour diriger ou retenir l'eau selon les besoins.

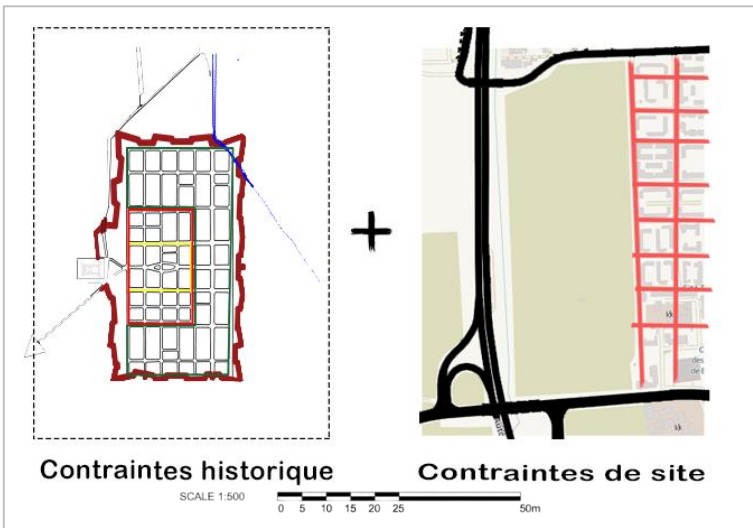
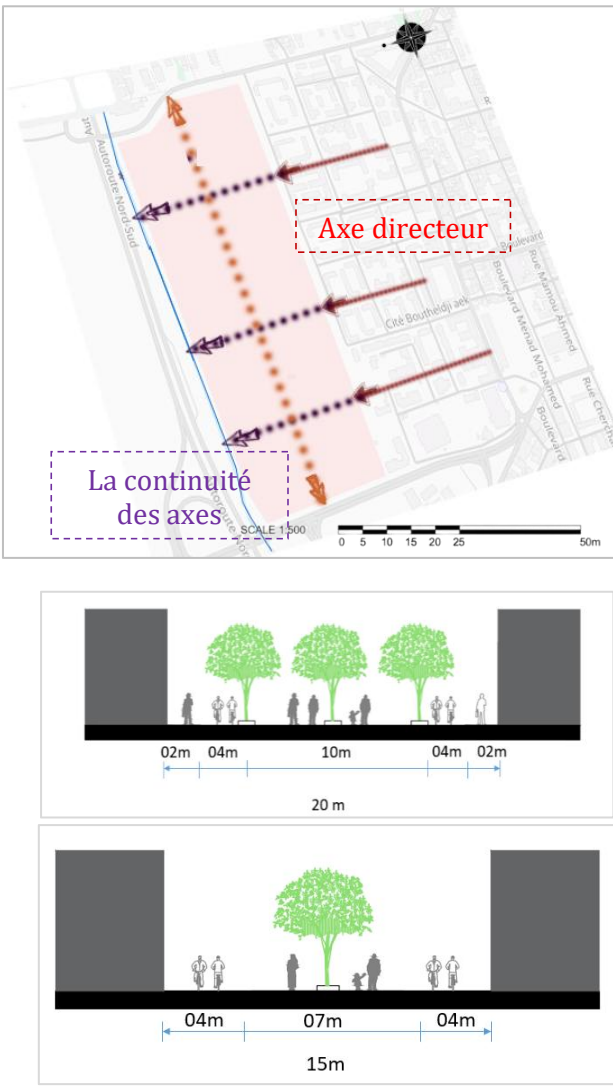
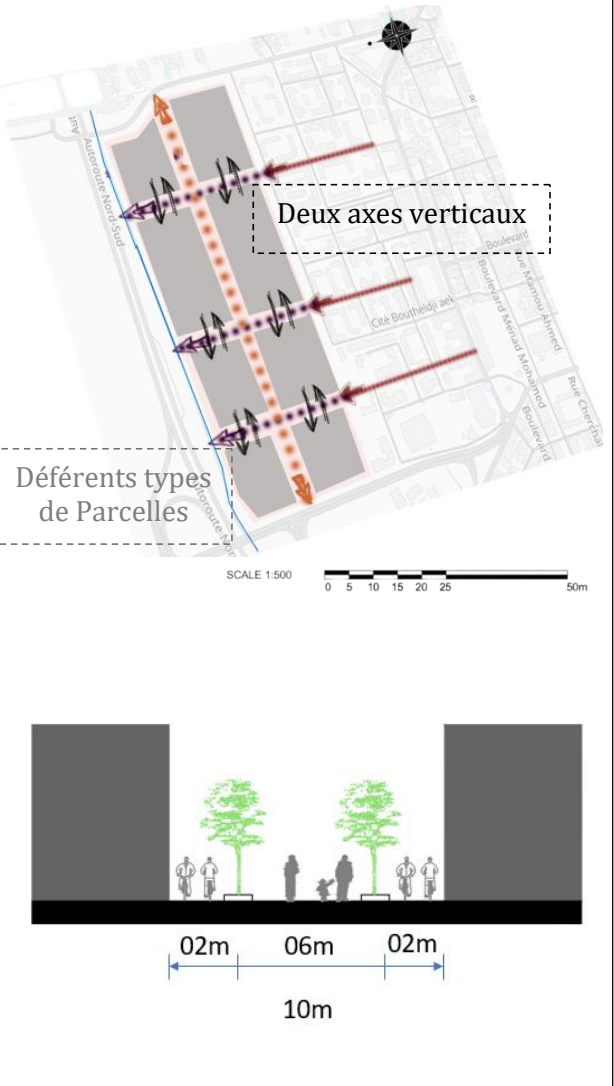
IV.6.3. Type de revêtement adapté :

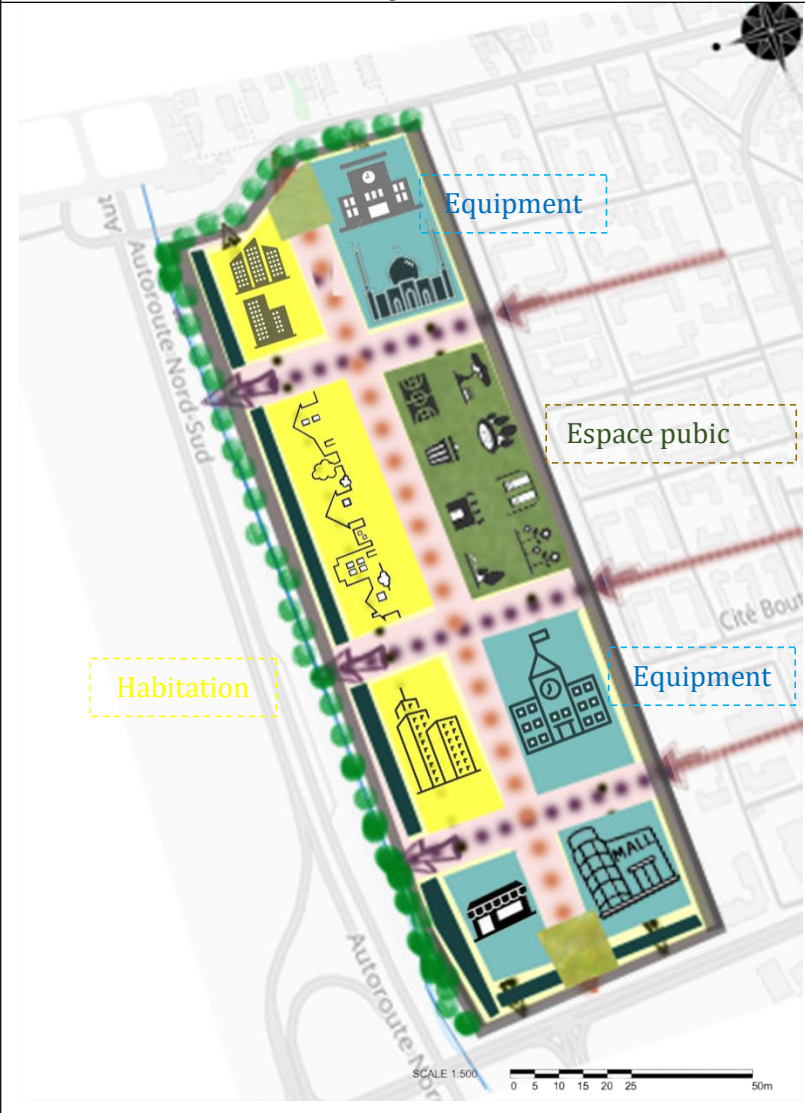
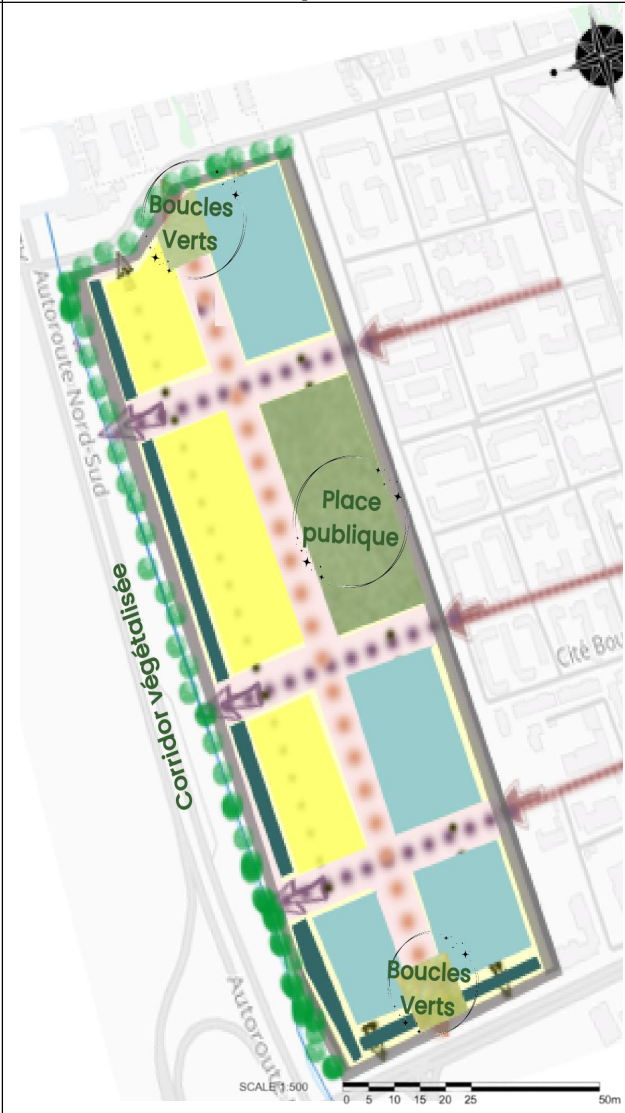
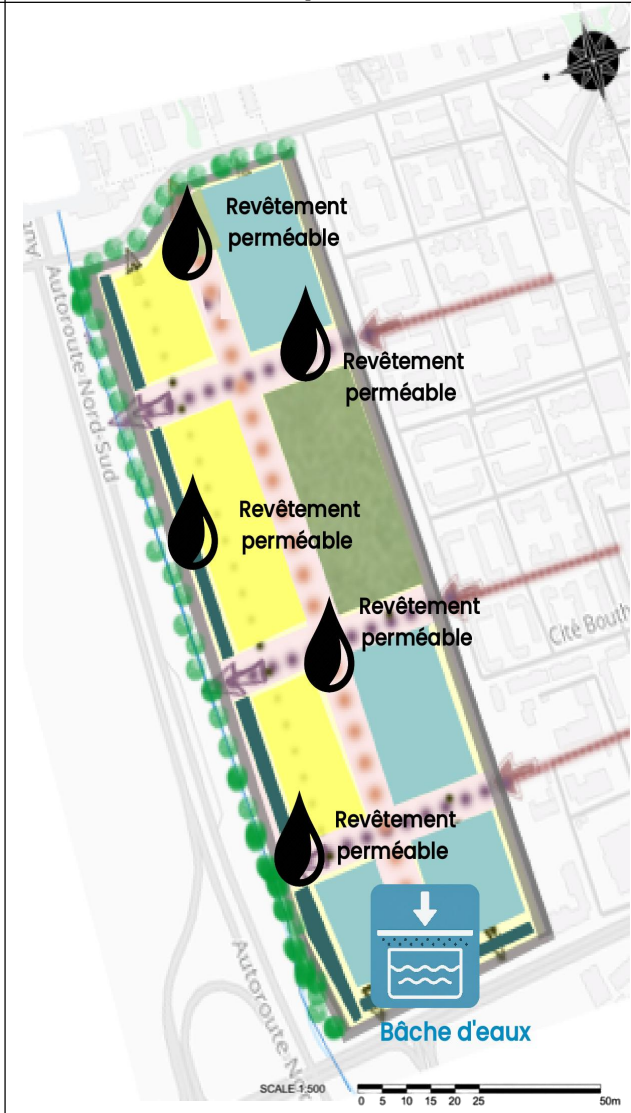
Revêtements perméables (ex. : dalles engazonnées, enrobés poreux, pavés joints larges enherbés) : permettent à l'eau de s'infiltrer plutôt que de ruisseler.



FIGURE 107 : REVÊTEMENTS PERMÉABLES ; SOURCE: PINTREST

Synthèse : Genèse de conception de l'éco quartier

Principe de base	Etape 01	Etape 02	Etape 03
	 - La continuité des axes structurants pour relier notre quartier ou ville et préserve la valeur historique de l'ancien trame urbain orthogonale. (De type piéton et cyclable) - Création d'un axe directeur au milieu de l'éco quartier.	 - La création de parcelles carrées ou rectangulaires se fait en suivant l'intersection des voiries projetées. - La Création de deux axes verticaux secondaires pour relier les différentes parcelles entre elles. (Cyclable et piétonne)	 Création d'une voie mécanique autour du terrain, densification et aménagement d'un corridor végétalisées à l'ouest pour réduire les nuisances sonores, ainsi qu'intégration d'une bande de bureaux à usages variés sur la façade ouest (principe de base).

Etape 04	Etape 05	Etape 06	Etape 07
			
• La mixité fonctionnelle la distribution des différentes fonctions abordées dans le programme.	• La biodiversité Place publique, boucles vers, corridor végétalisée. implantation des plantes locales dans les espaces verts.	• Gestion eaux pluviales Une bâche de rétention souterraine est placée en zone verte basse pour collecter les eaux pluviales, complétée par un revêtement perméable généralisé dans tout l'éco quartier.	• Gestion des déchets Les points de collecte collective sont placés près des habitations, le long des axes piétons et mécaniques. Pour assurer accessibilité, discrétion visuelle et facilité d'accès aux services de collecte.

- *Le programme de l'éco quartier :*

Nous avons élaboré le programme urbain surfacique suivant :

Typologie	Fonctionnalité	Surface (m ²)	Gabarit	Occupation (%)
Habitat	Habitat collectif	12531	R+5	5.67
	Habitat collectif participatif	14776	R+5	6.69
	Habitat semi-collectif	24440	R+3	11.06
Équipement	Crèche	4000	R+1	1.81
	École primaire	20066	R+1	9.08
	Lycée	10344	R+2	4.68
	Mosquée	8688	R+2	3.93
	Centre commercial	7562	R+2	3.42
	Centre multifonctionnelle	6630	R+3	3.00
	Bureaux à différentes usages	9544	R+2	4.32
	Centre de proximité	3756	R+1	1.70
	Protection civil	1580	R+1	0.71
	Centre de santé	2895	R+1	1.31
Espace vert	Place publique	35276	/	23.69
	Aire de jeux		/	1.21
	Barre végétale		/	1.21
	Espace libre			1.2
	Parking	35276	Sous-sol	/
Eco quartier		22.1 Ha		

- Plan d'aménagement de l'éco quartier :



FIGURE 108 : PLAN D'AMÉNAGEMENT DE L'ÉCO QUARTIER; SOURCE: TRAITÉE PAR L'AUTEUR

- *Place public :*

La place publique : un cœur vivant au sein de l'éco-quartier

Située au centre de l'éco-quartier, cette place publique constitue un espace de vie structurant favorisant les échanges sociaux, l'apprentissage informel et la convivialité entre les usagers.

Elle relie les différents pôles fonctionnels du quartier (établissements scolaires, habitations, équipements sportifs), tout en offrant une diversité d'ambiances et d'usages.

Conçue comme un espace ouvert, végétalisé et multifonctionnel, elle regroupe plusieurs composantes :

✿ 1. Aires de détente et d'échange : bancs sous les arbres, pergolas, assises végétales pour les parents, les habitants ou les enseignants.

✿ 2. Aires de jeux et de motricité : parcours sensoriels en bois, toboggans et agrès adaptés pour le développement psychomoteur des enfants.

● 3. Point d'eau : bassin naturel ou mare pédagogique pour l'éveil à l'environnement et la biodiversité.

♣ 4. Labyrinthe végétal : parcours ludique stimulant l'autonomie et la curiosité.

✿ 5. Jardin botanique : cultivé avec les enfants et les enseignants pour une pédagogie active et en plein air.

⊕ 6. Terrains de sport : ouverts et intégrés dans le paysage, accessibles aux jeunes du quartier.

↻ Connexion et perméabilité

La place est traversée par une maille piétonne structurante qui relie l'ensemble du quartier.

Cette disposition favorise une circulation fluide, sécurisée et accessible pour tous.

♻ Écologie et bien-être

L'aménagement respecte les principes de l'urbanisme durable : sol perméable, végétation locale, gestion naturelle de l'eau et mobilier en matériaux biosourcés.



FIGURE 109 : LA PLACE PUBLIC ; SOURCE: L'AUTEUR

V. Le projet architectural :

V.1. Logique fonctionnelle et concepts liés au programme

Le projet d'école primaire est organisé autour de fonctions essentielles : **apprendre, lire, se restaurer, gérer et collaborer**. À l'intérieur, les élèves étudient, lisent, mangent et interagissent dans un cadre structuré. À l'extérieur, ils explorent, expérimentent et créent grâce à des ateliers et des activités en plein air. Cette répartition favorise un apprentissage actif, équilibré et stimulant.

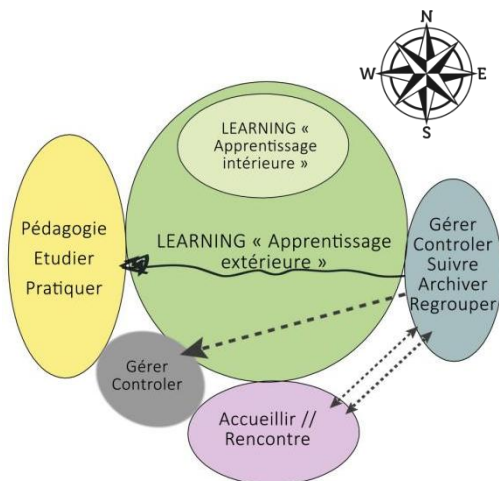


FIGURE 111 : ORGANIGRAMME FONCTIONNELLE GLOBALE ; SOURCE : TRAITÉ PAR L'AUTEUR

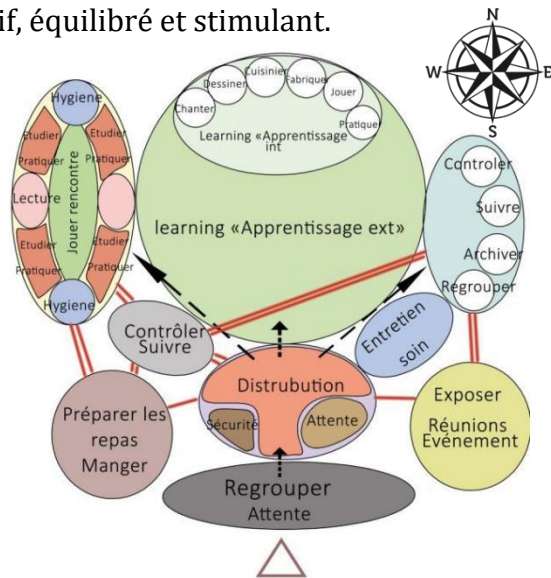
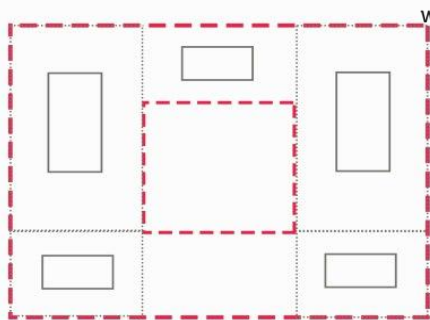


FIGURE 110: ORGANIGRAMME FONCTIONNELLE DÉTAILLÉ ; SOURCE : TRAITÉ PAR L'AUTEUR

V. 2. Organisation spatiale du projet

PRINCIPE D'ORGANISATION



CENTRALITE HIÉRARCHISÉE

ORGANISATION SPATIALE DE L'ENTITÉ PÉDAGOGIQUE

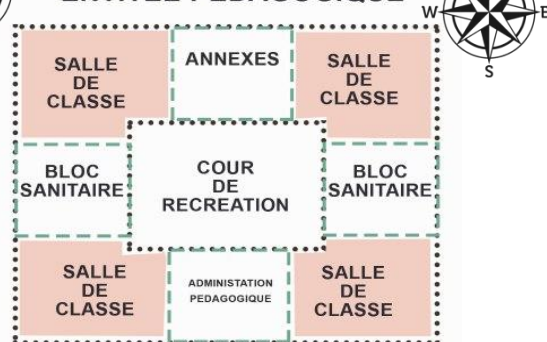


FIGURE 112 : SCHÉMA REPRÉSENTE L'ORGANISATION SPÉCIALE DE L'ENTITÉ PÉDAGOGIQUE; SOURCE : TRAITÉE PAR L'AUTEUR

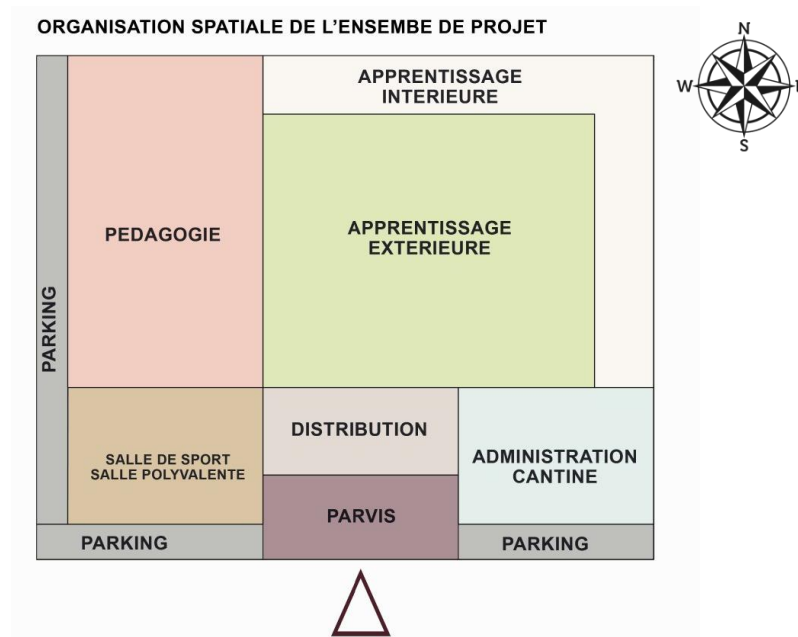


FIGURE 113 : SCHÉMA REPRÉSENTE L'ORGANISATION SPATIALE DU PROJET ; SOURCE : TRAITE PAR L'AUTEUR

V.3. Concepts liés au site

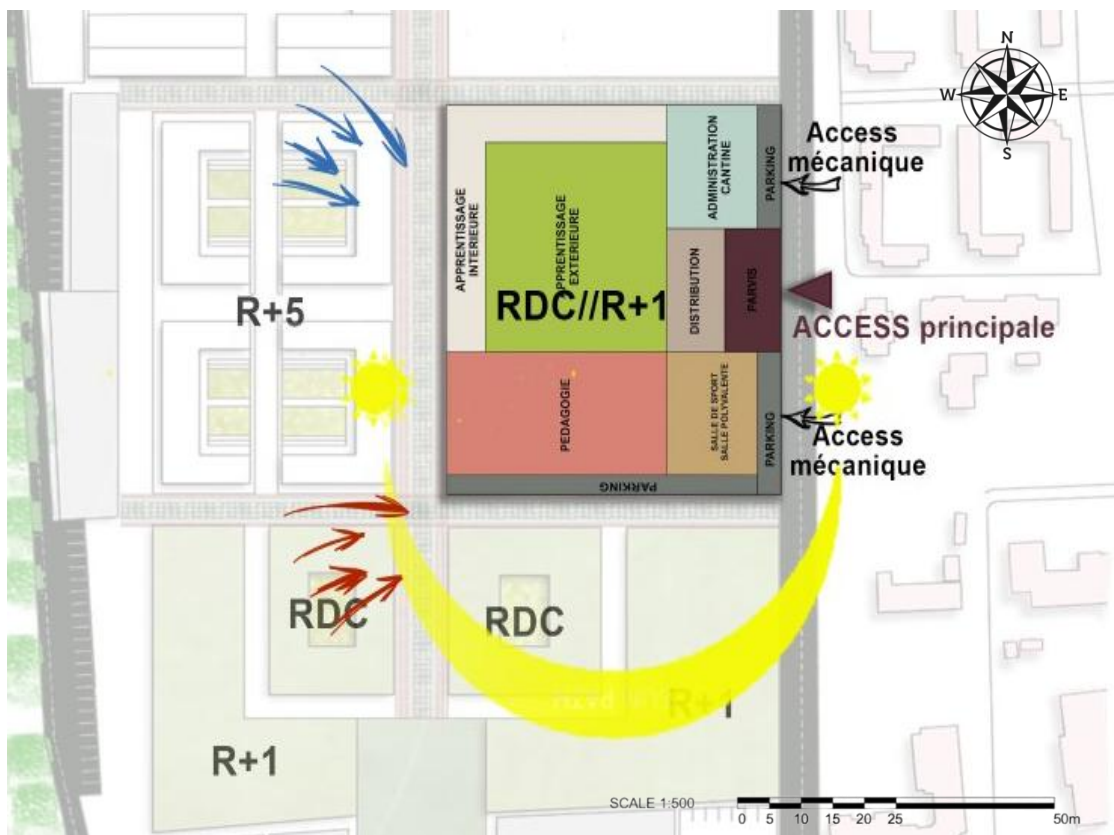


FIGURE 114 : SCHÉMA REPRÉSENTE LES CONCEPTS LIÉS AU SITE; SOURCE: TRAITÉE PAR L'AUTEUR

V.4. Concepts liés à des références architecturales

1. La centralité aux équipements éducatifs :

Le concept de centralité appliqué aux équipements éducatifs repose sur l'idée de placer les espaces d'apprentissage au cœur du projet, de manière à ce qu'ils constituent le noyau fonctionnel et symbolique de l'ensemble architectural. Cette organisation favorise à la fois l'accessibilité, l'interaction et la hiérarchisation des fonctions.



FIGURE 115 : ECOLE YAMAMOTOCHOU FUJI KINDERGARTEN,
SOURCE: [HTTPS://JAPANIZATION.ORG/](https://japanization.org/)

Dans ces projets, la centralité n'est pas seulement spatiale, mais aussi symbolique : elle reflète l'importance accordée à l'apprentissage, à la coopération et à l'échange entre les usagers. Ce choix contribue à créer une identité forte pour l'établissement, où le savoir devient un vecteur de lien social.



FIGURE 116 : LE LEARNING CENTER DE L'EPFL (SANA, LAUSANNE) SOURCE :
[HTTP://WWW.BUBBLEMANIA.FR/](http://www.bubblemania.fr/)

2. La modularité des espaces pédagogiques :

La modularité des espaces pédagogiques est un levier essentiel pour concevoir des environnements scolaires modernes, flexibles et adaptés aux besoins variés des élèves et enseignants. Elle favorise la diversité des situations d'apprentissage, la collaboration, l'intégration du numérique et le bien-être, tout en permettant une évolution facile des

espaces au fil du temps.



FIGURE 117 : ORESTAD COLLEGE, COPENHAGEN, DENMARK; SOURCE: [HTTPS://WWW.IMAGO-IMAGES.COM/ST/0079425379](https://www.imago-images.com/st/0079425379)

3. *L'ouverture sur l'environnement naturel :*

L'ouverture sur l'environnement naturel est un principe architectural central dans la conception d'établissements scolaires contemporains. Elle vise à renforcer le lien entre l'élève et la nature, à favoriser le bien-être psychologique et à créer un environnement propice à et la nature, à favoriser le bien-être psychologique et à créer un environnement propice à l'apprentissage.



FIGURE 118 L'ÉCOLE DE LA SAINTE-FAMILLE (FRANCE, NOMADE ARCHITECTES) SOURCE : LINKEDIN

4. La hiérarchie fonctionnelle et spatiale :

Le principe de hiérarchie fonctionnelle et spatiale dans l'architecture scolaire consiste à organiser les différentes entités du projet selon une logique de priorité, de circulation et d'usage, tout en affirmant une lisibilité claire du fonctionnement global de l'établissement.



FIGURE 119 : SCHOOL CENTER LUCIE AUBRAC FRANCE SOURCE : ARCHDAILY

V.5. Concepts liés à l'environnement physique

V.5.1. Orientation du bâtiment

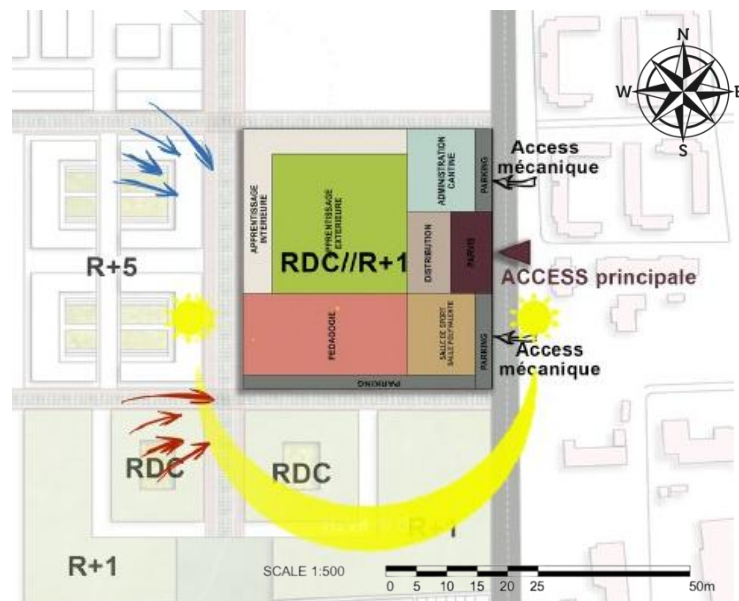


FIGURE 120 : SCHÉMA REPRÉSENTE L'ORIENTATION DE PROJET; SOURCE: TRAITÉE PAR L'AUTEUR

V.5.2. Zonage thermique (bioclimatique)

Zone chaude (*Pédagogie, Apprentissage intérieure*) :

Orientée au sud pour profiter de l'ensoleillement hivernal et réduire les besoins en chauffage.

Zone tempérée + (*Salle de sport*) :

Utilisation ponctuelle et production de chaleur corporelle → besoin modéré en chauffage.

Placée en tampon entre les zones chaudes et fraîches.

Zone tempérée (*Circulations, Apprentissage extérieure*) :

Espaces peu occupés, nécessitant un confort thermique limité. L'apprentissage extérieur est protégé, mais non chauffé.

Zone fraîche (*Administration, Cantine*) :

Moins utilisée et orientée au nord, elle sert aussi de zone tampon pour limiter les pertes thermiques.

Zone non chauffée (*Parking, Parvis*) :

Espaces extérieurs ou techniques, sans besoin de chauffage, situés en périphérie pour protéger les zones intérieures.

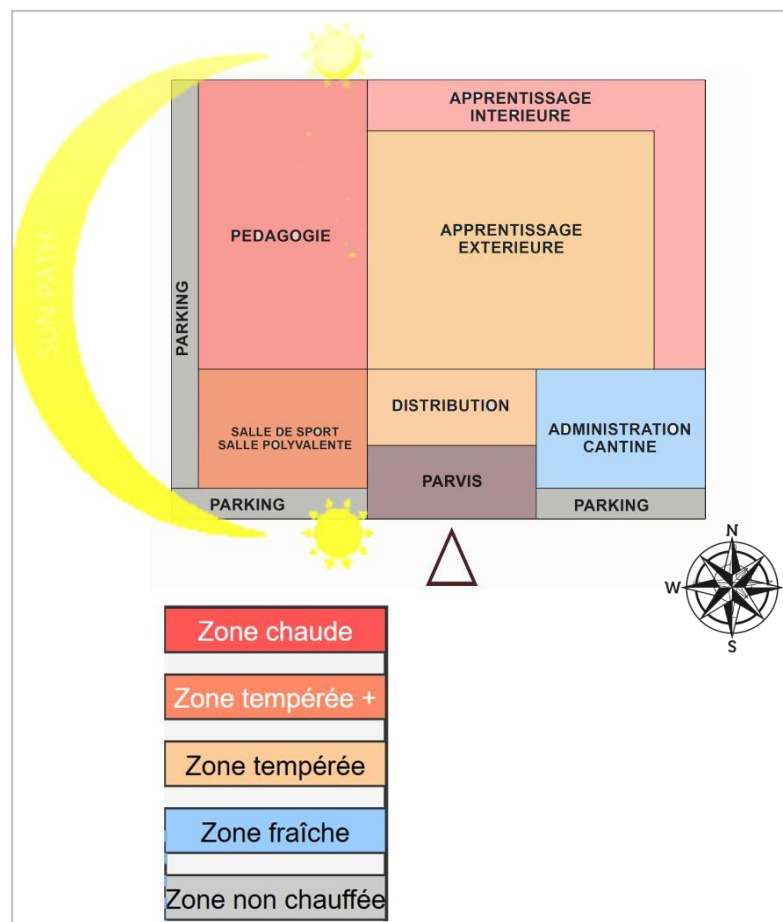


FIGURE 121 : SCHÉMA REPRÉSENTE LE ZONAGE THERMIQUE DANS LE PROJET;
SOURCE: TRAITÉE PAR L'AUTEUR

V.5.3. Ventilation naturelle

*vents dominants nord-ouest

Captage des vents frais: Des ouvertures sont placées sur la façade nord-ouest du bâtiment pour capter les vents dominants frais

Dimensionnement optimal : Les ouvertures sont dimensionnées pour maximiser l'entrée d'air en fonction de la direction et de la vitesse moyenne des vents (2m*2m)*Ventilation traversant

Circulation diagonale : L'air frais entre par le nord-ouest et traverse les espaces jusqu'aux sorties sur la façade sud-est

*Effet de tirage thermique

Cheminées solaires : Placées en toiture pour évacuer l'air chaud par convection
Apprentissage Extérieure (zone centrale) : Espace tampon bien ventilé qui distribue l'air frais aux autres zones.

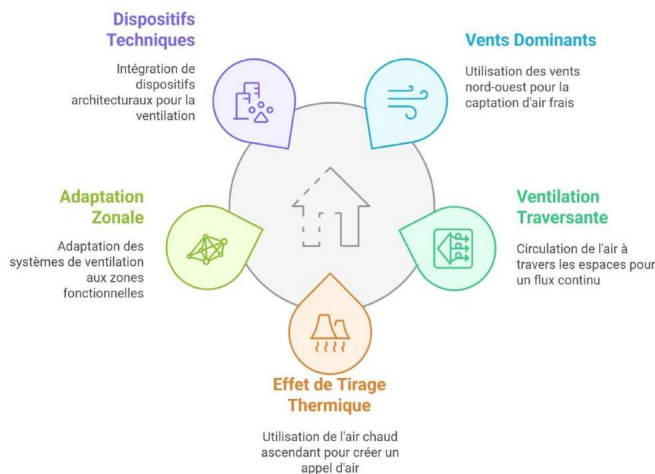


FIGURE 122 : LES PRINCIPES DE LA VENTILATION NATURELLE; SOURCE: TRAITÉE PAR L'AUTEUR

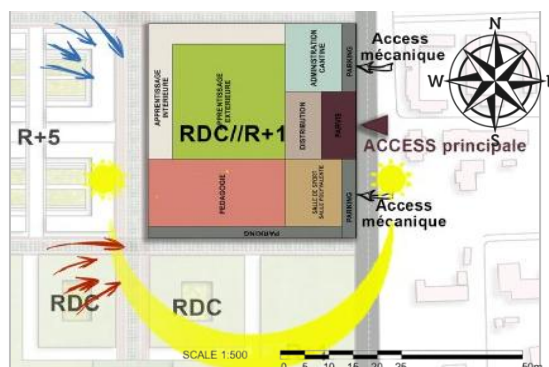
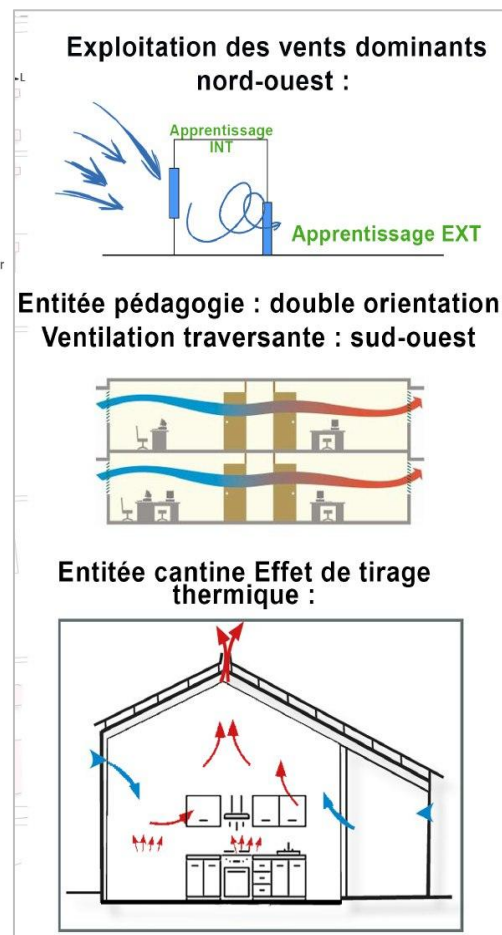


FIGURE 123 : SCHÉMA REPRÉSENTE LES VENTS DOMINANTS DANS LE PROJET; SOURCE : TRAITÉE PAR L'AUTEUR



V.5.4. Dispositifs d'ombrage

Nous désintègre des brise-soleil orientables en façade sud pour optimiser la gestion des apports solaires et garantir un confort thermique et visuel optimal dans les salles de classe. D'après les données exportés depuis tableau d'ombrage du soleil "climat-consultante6.0" a la base de fichier climatique de la zone d'étude exporté depuis météo norm "EPW" on a pris de dimensionné les brise soleil horizontale et verticale (Horizontal "sud" l=1.75m)



FIGURE 125 : LES BRISES SOLAIRES EN FAÇADE; SOURCE: ÉCOLE ÉLÉMENTAIRE, ESPACE ANDRÉ MALRAUX À BONDOUFLE

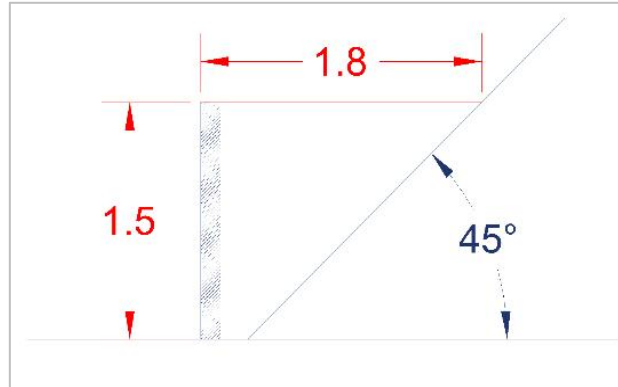


FIGURE 124 : DIMENSIONS DES BRISES SOLEIL HORIZONTAL SOURCE: AUTEUR

En extérieur, des voiles d'ombrage rétractables et des pergolas végétalisées créent des espaces ombragés pour les élèves, contribuant à réduire l'effet d'îlot de chaleur et à favoriser les activités en plein air tout au long de l'année. Ces dispositifs, combinés à une végétalisation stratégique, assurent une protection solaire efficace, durable et adaptée au contexte climatique du site.



FIGURE 127 : PERGOLAS VÉGÉTALISÉES; SOURCE : [HTTPS://GARDENISTAS.EU/TOODE/PAIKESEVARI-5X5M/](https://gardenistas.eu/toode/paikesevari-5x5m/)



FIGURE 126 : PERGOLAS PRONEMADE OMBRAGÉ JARDIN; SOURCE : [HTTPS://PIXABAY.COM/FR/PHOTOS/PERGOLA -PROMENADE-OMBRAGÉE-94560/](https://pixabay.com/fr/photos/pergola-promenade-ombregée-94560/)

V.5.5. Éclairage naturel

Le bâtiment est orienté sud/sud-est pour maximiser la lumière naturelle dans les salles pédagogiques.

De **larges baies vitrées** à double vitrage assurent un bon éclairage tout en limitant les pertes de chaleur.

Des **brise-soleil orientables** et **casquettes** protègent des surchauffes et de l'éblouissement, garantissant un **confort visuel** optimal.

Les **puits de lumière** apportent un éclairage naturel aux zones profondes.

Cette stratégie réduit l'éclairage artificiel et améliore le **bien-être des usagers**.



FIGURE 128 : BRISE-SOLEIL BOIS ORIENTABLE EN FAÇADE; SOURCE : [HTTPS://WWW.BRICKAWARD](https://www.brickaward).

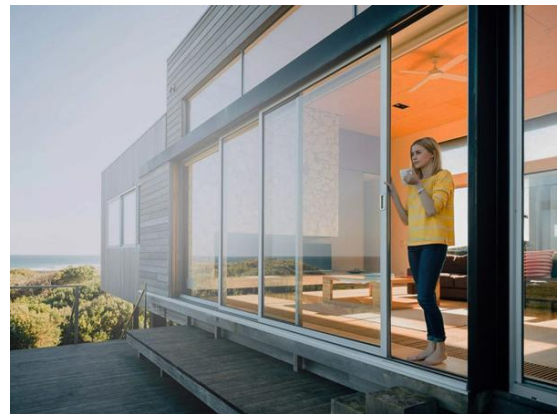


FIGURE 129 : LARGE VITRAGE DOUBLE SUR VÉRANDA ; SOURCE : PRÉSENTÉ DANS UN ARTICLE COMPARATIF SUR DOUBLE VITRAGE



FIGURE 130 : LONGLIGHTS AU-DESSUS D'UN ESCALIER D'ÉCOLE PRIMAIRE; SOURCE: VELUX COMMERCIAL, NOUVEAU BÂTIMENT SCOLAIRE À DRESDE



FIGURE 131 : NORTHLIGHTS MODULAIRES DANS UN LYCÉE RÉNOVÉ; SOURCE : VELUX COMMERCIAL, RÉNOVATION D'UN LYCÉE EN SUÈDE

V.5.6. Intégration de la technologie des P.V :

L'orientation sud/sud-est du bâtiment favorise un apport lumineux optimal dans les salles pédagogiques.

Des **baies vitrées à double vitrage** assurent l'éclairage naturel tout en limitant les pertes thermiques.

Des **brise-soleil** et **casquettes** évitent la surchauffe et l'éblouissement, assurant un bon confort visuel.

Les **puits de lumière** éclairent les zones profondes.

Cette stratégie réduit l'usage de l'éclairage artificiel et améliore le **bien-être des usagers**.

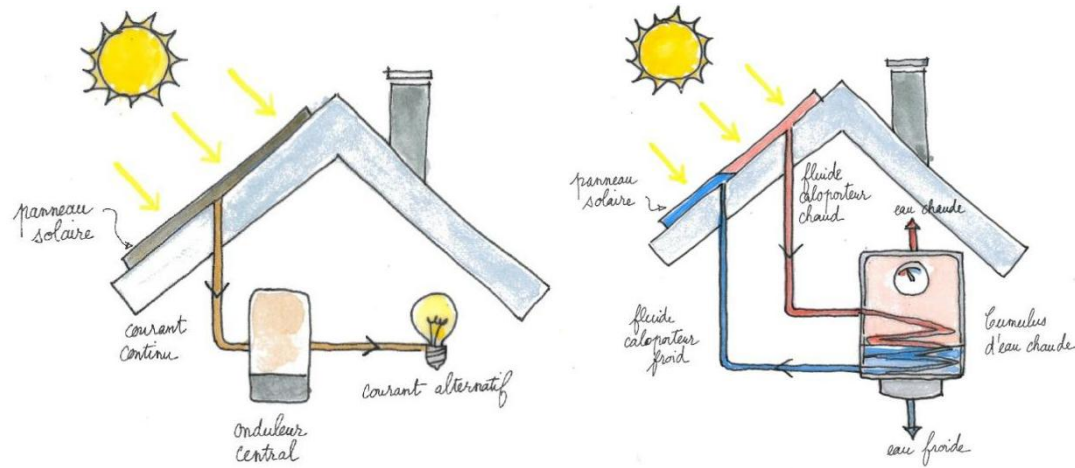


FIGURE 132 : ENERGIE RENOUVELABLE PAR LES PANNEAUX SOLAIRE ; SOURCE : TRAITE PAR L'AUTEUR

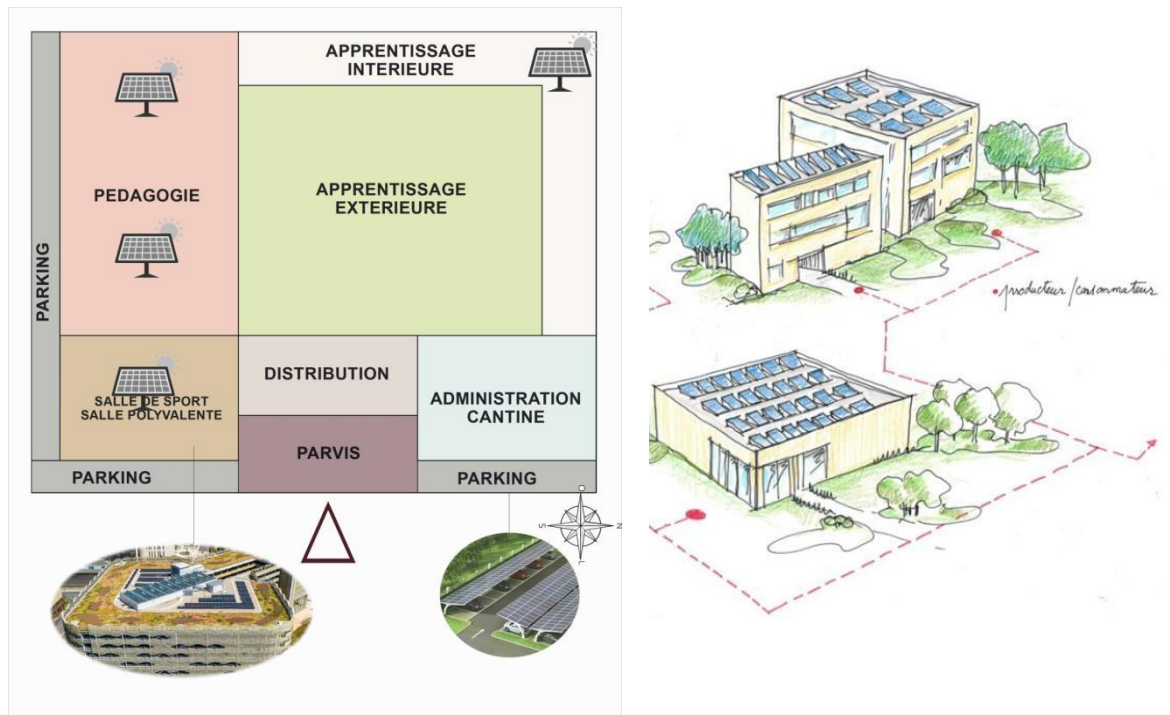


FIGURE 133 : EMPLACEMENT DES PANNEAUX SOLAIRE DANS ENSEMBLE DE PROJET ; SOURCE : TRAITE PAR L'AUTEUR

V.5.7 Choix des matériaux :

Matériaux	Justification de choix	Illustration
Béton	Structure, durabilité, forme	 FIGURE 134 : LE BÉTONPN; SOURCE: HTTPS://WWW.BETONEXPERT.FR
Béton cellulaire	Isolation thermique, légèreté, durabilité Qualités d'un matériau Économie Pose rapide, facile, érection Acoustique Bon affaiblissement sonore Sécurité Coupe-feu, non toxique Confort thermique Excellente isolation naturelle Confort visuel Haute luminosité, élaste Écologie Faible impact, recyclable, sain	 FIGURE 135 : BÉTON CELLULAIRE; SOURCE: HTTPS://WWW.FORUMCONSTRUIRE.COM
Bois	Écologique, esthétique, isolant naturel	 FIGURE 136 : LE BOIS ; SOURCE: HTTPS://WWW.COTEMAISON.FR
Double vitrage	Isolation thermique et acoustique	 FIGURE 137 : DOUBLE VITRAGE; SOURCE: HTTPS://WWW.ON-RENOVE.FR/FENETRES-DOUBLE-VITRAGE/

V.6. Genèse du projet :

- *Les étapes d'implantation de l'école primaire:*

Cette figure schématise les étapes clés d'une conception de notre projet, débutant par l'analyse de l'assiette du projet. Il progresse vers la définition d'une trame fonctionnelle, l'intégration d'une circulation centrale, la distribution des entités, et culmine avec la mise en place d'une centralité hiérarchisée au sein de chaque zone.

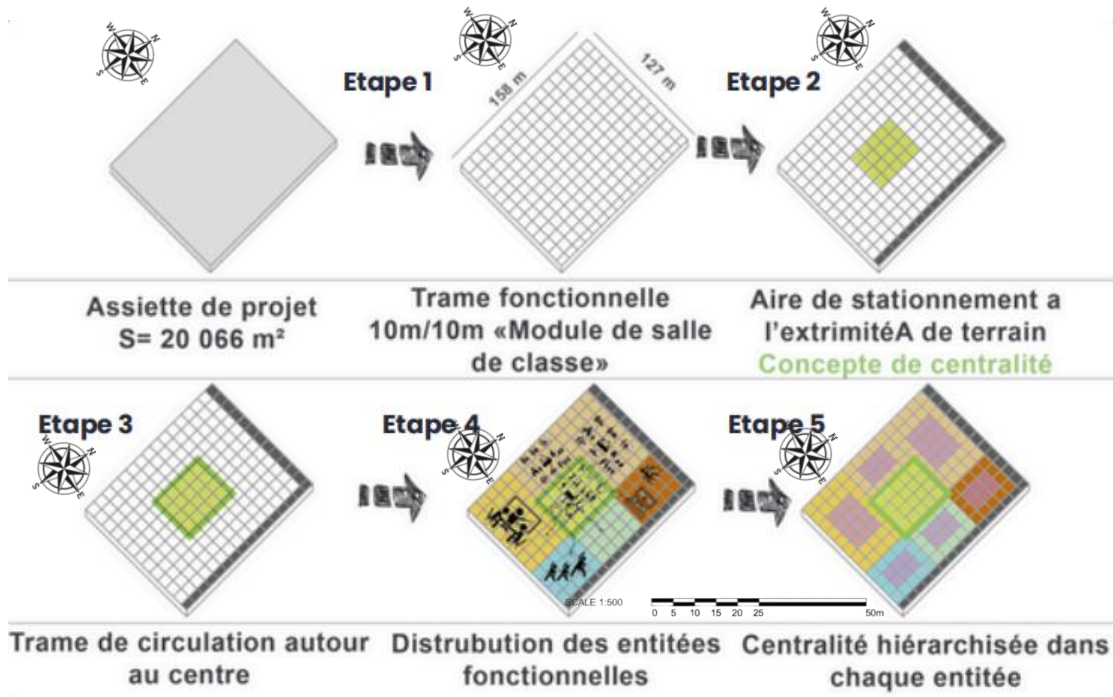


FIGURE 138 : LES ÉTAPES D'IMPLANTATION DE L'ÉCOLE PRIMAIRE; SOURCE : AUTEUR

- *Développement des entités :*

1. Pédagogique :

Étape 01 : Organisant les fonctions principales (classes, administration, sanitaires) autour d'une cour.

Étape 02 : La forme initiale est réorientée et ajustée pour optimiser l'accès à la lumière naturelle et la performance solaire des modules.

Étape 03 : La géométrie s'ouvre et se déploie, définissant les accès et la distribution horizontale pour créer des relations entre les différents espaces.

Étape 04 : Un volume est intégré au centre pour définir la centralité du bloc et le rendre plus attractif, affinant l'esthétique générale de la composition.

Étape 05 : La volumétrie finale est obtenue par des soustractions sur différents blocs et l'application d'un module répétitif sur toutes les façades, conférant rythme et identité à l'ensemble.

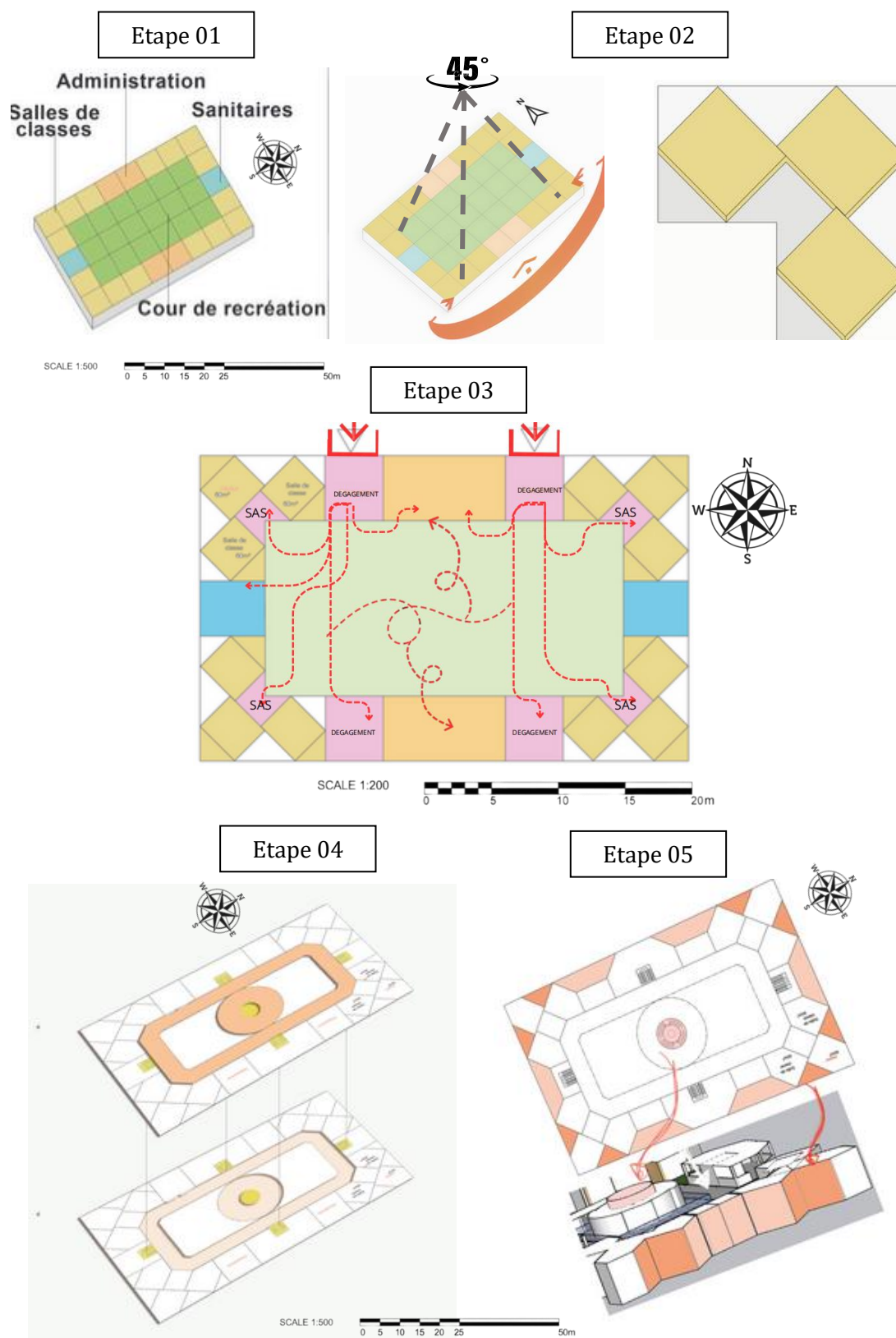


FIGURE 139 : DÉVELOPPEMENT D'ENTITÉ PÉDAGOGIQUE; SOURCE: AUTEUR

2. Atelier d'apprentissage intérieur :

Une transition fluide entre une entité pédagogique organisée et des ateliers d'apprentissage libre, traduisant une évolution spatiale du structuré vers le créatif.

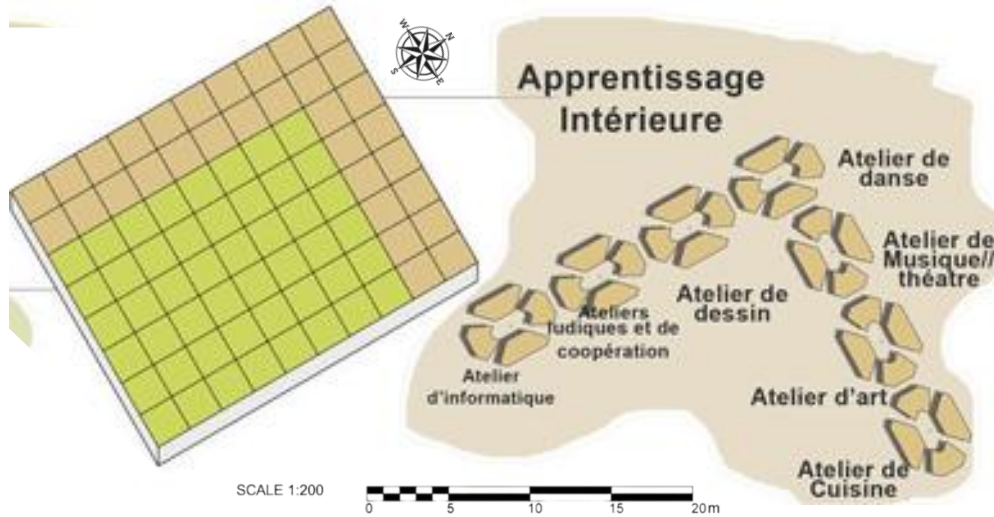


FIGURE 140 : ATELIER D'APPRENTISSAGE INTÉRIEUR; SOURCE: AUTEUR

3. Administration + Cantine :

Cette figure présente l'organisation initiale d'un module intégrant l'administration et la cantine, où le réfectoire occupe une position centrale et fédératrice. Cette disposition vise à établir dès le départ un point d'attraction essentiel, optimisant les flux et les relations entre les fonctions.

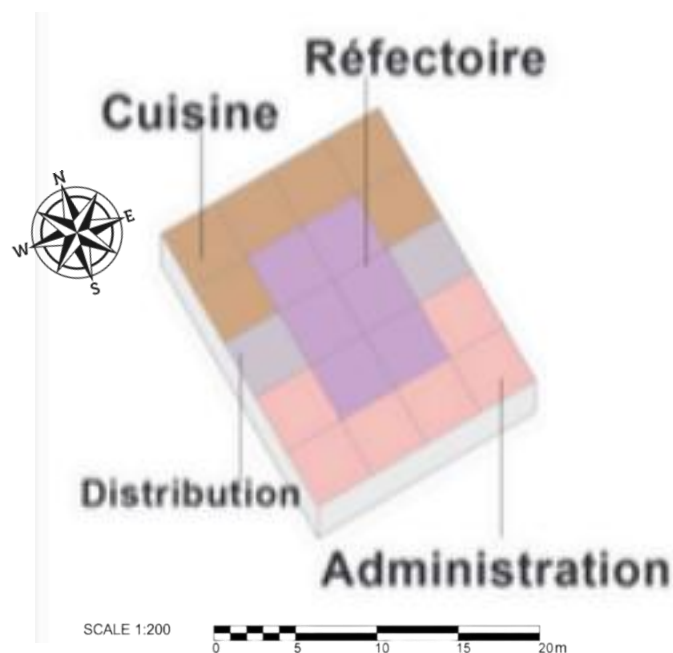


FIGURE 141 : ADMINISTRATION ET CANTINE, SOURCE: AUTEUR

4. Apprentissage extérieur :

Cet espace extérieur peut être considéré comme une extension directe des fonctions éducatives ou récréatives du bâtiment principal. Il démontre comment la conception ne se limite pas aux murs, mais s'étend à l'aménagement paysager pour créer un environnement d'apprentissage holistique.



FIGURE 142 : APPRENTISSAGE EXTÉRIEUR, SOURCE: AUTEUR

V.7. Composition des façades :



FIGURE 143 : FAÇADE PRINCIPALE NORD DE BLOC PÉDAGOGIQUE, SOURCE : AUTEUR

Concepts Géométriques

- Symétrie parfaite : Composition rigoureusement équilibrée autour d'un axe central
- Tripartition harmonieuse : Division claire en trois entités (ailes latérales + corps central)
- Modularité systémique : Répétition ordonnée des baies créant un rythme architectural uniforme

Concept Chromatique :

- La teinte gris clair renforce le caractère institutionnel et professionnel du projet, tout en lui conférant une élégance discrète et une modernité intemporelle.

Principe de Dynamisme :

- Éléments verticaux en bois constituent effectivement un système de moucharabieh contemporain qui enrichit votre façade par son dynamisme visuel et ses qualités bioclimatiques.

Le principe de Fusion :

- Est très présent dans notre façade, particulièrement au niveau du corps central vitré. « Administration, Bibliothèque ».
- Utilisation des fenêtres performantes, double vitrage.

Le concept de biophile :

- Ajout de la végétation sur les façades.

V.7. système structurel et technologies constructives :

Le système constructif adopté pour ce projet repose sur une structure en portiques en béton armé, assurant à la fois la stabilité, la flexibilité spatiale et la durabilité du bâtiment. Les portiques sont constitués de poteaux carrés et circulaires de 40×40 cm, régulièrement répartis selon une trame orthogonale. Ce choix permet de dégager de larges espaces libres, favorisant l'adaptabilité des aménagements intérieurs, en particulier dans le cadre d'un espace éducatif modulable.

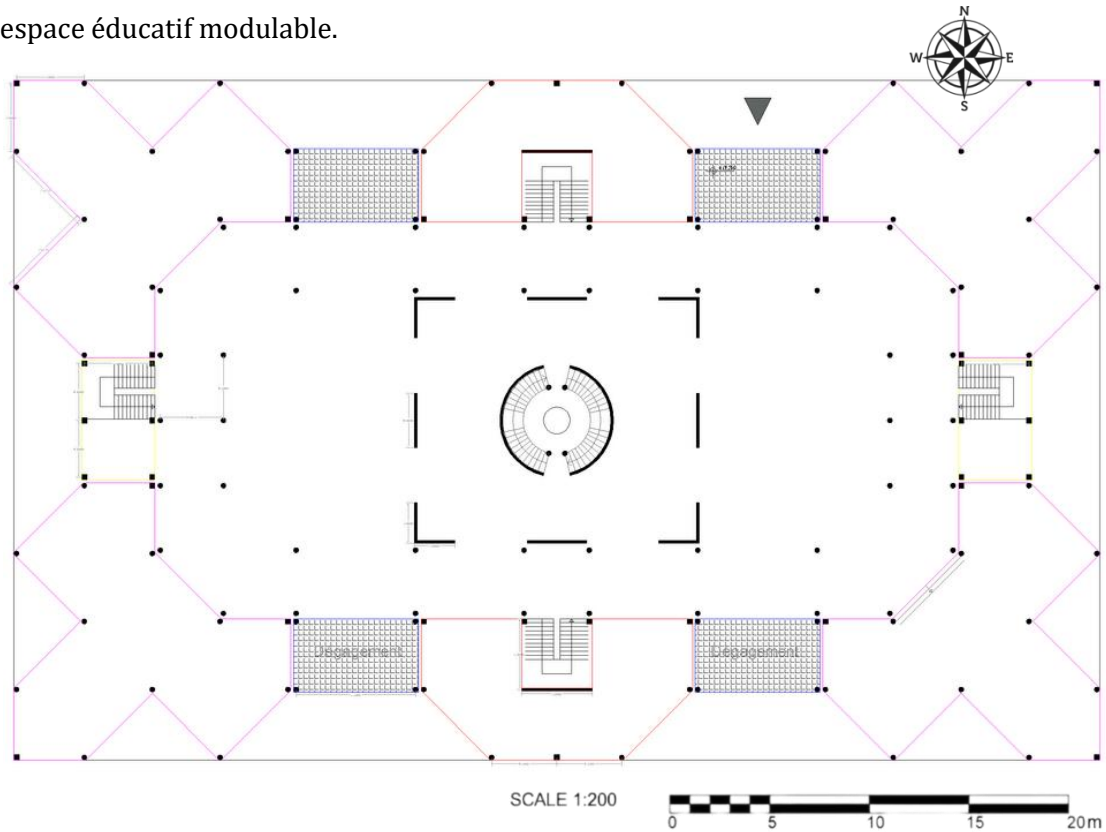


FIGURE 144 : PLAN DE STRUCTURE D'ENTITÉ PÉDAGOGIQUE; SOURCE: AUTEUR

Conclusion :

L'analyse urbaine et environnementale de la ville de Boufarik et de son site d'implantation a permis d'identifier les enjeux majeurs liés au climat, à la mobilité douce, à la gestion des eaux et des déchets, ainsi qu'à la trame végétale. Ces éléments ont orienté la conception du projet vers une intégration respectueuse du contexte, limitant les terrassements et favorisant un microclimat adapté.

Le projet architectural de Learning Spaces s'appuie sur une organisation fonctionnelle claire, répondant aux besoins d'un espace éducatif innovant. Il intègre des stratégies passives (orientation, ventilation naturelle, éclairage zénithal, ombrage, matériaux bios) pour optimiser la performance énergétique et le confort visuel. Le système structurel associe portiques en béton armé.

Dans la continuité de cette démarche, le chapitre suivant est dédié à l'évaluation de ces choix par des simulations numériques (DesignBuilder), afin de mesurer leur impact réel sur la consommation énergétique et le confort lumineux des usagers, et ainsi valider l'efficacité environnementale du projet.



CHAPITRE 4

Étude numérique et pistes d'optimisation architecturale



I. Introduction :

Afin de concevoir des espaces d'apprentissage offrant un confort visuel optimal tout en maîtrisant la consommation énergétique, il est indispensable de tester et de valider les différentes stratégies et techniques appliquées dans ce projet, ainsi que d'identifier les principaux facteurs influençant à la fois le confort visuel et la consommation d'énergie.

Pour ce faire, nous prévoyons de réaliser une simulation comparative à l'aide du logiciel DesignBuilder, en modélisant une salle de classe type avec plusieurs configurations variées d'ouvertures et de types de vitrage. Cette approche permettra d'optimiser l'éclairage naturel tout en contrôlant efficacement les apports solaires et les risques de surchauffe.

Les données climatiques utilisées pour ces simulations seront extraites du logiciel Climate Consultant, qui fournit des informations climatiques détaillées et actualisées pour la région de Boufarik, notamment les niveaux d'ensoleillement, les températures et l'humidité relative tout au long de l'année. Ces paramètres sont essentiels pour évaluer les potentialités d'éclairage naturel ainsi que les risques d'éblouissement ou de surchauffe pouvant affecter le confort visuel des apprenants dans les espaces éducatifs conçus.

II. Généralité sur la STD :

II.1 Définition de la STD :

La Simulation Thermique Dynamique (STD) est une méthode d'évaluation du comportement thermique d'un bâtiment sur une période donnée (horaire, journalière, annuelle, etc.). Elle permet de simuler les échanges thermiques entre le bâtiment et son environnement (soleil, vent, température extérieure), ainsi que les apports internes (occupants, équipements, éclairage). Ces simulations permettent d'anticiper les besoins en chauffage, refroidissement, et de proposer des stratégies d'optimisation énergétique. (Calculcee.fr)

II.2 Objectifs de la STD :

Les principaux objectifs de la STD sont :

- Évaluer les performances thermiques d'un bâtiment dans différentes conditions climatiques.
- Identifier les sources de déperdition thermique.
- Optimiser le confort thermique des occupants (température, hygrométrie).
- Réduire la consommation énergétique du bâtiment.
- Comparer différents scénarios de conception ou de rénovation.

II.3 Choix des logiciels de la STD :

Afin de réaliser les simulations, il est essentiel de choisir des logiciels adaptés, à la fois puissants et compatibles avec les données du projet.

a. Présentation de Design-Builder :

Design-Builder est un logiciel de modélisation et de simulation énergétique basé sur le moteur de calcul EnergyPlus. Il permet de modéliser des bâtiments en 3D et d'analyser leur performance thermique, énergétique, lumineuse et environnementale. Il est particulièrement apprécié pour son interface graphique intuitive, sa précision de calcul et sa compatibilité avec les normes internationales. (DesignBuilder Software Ltd)

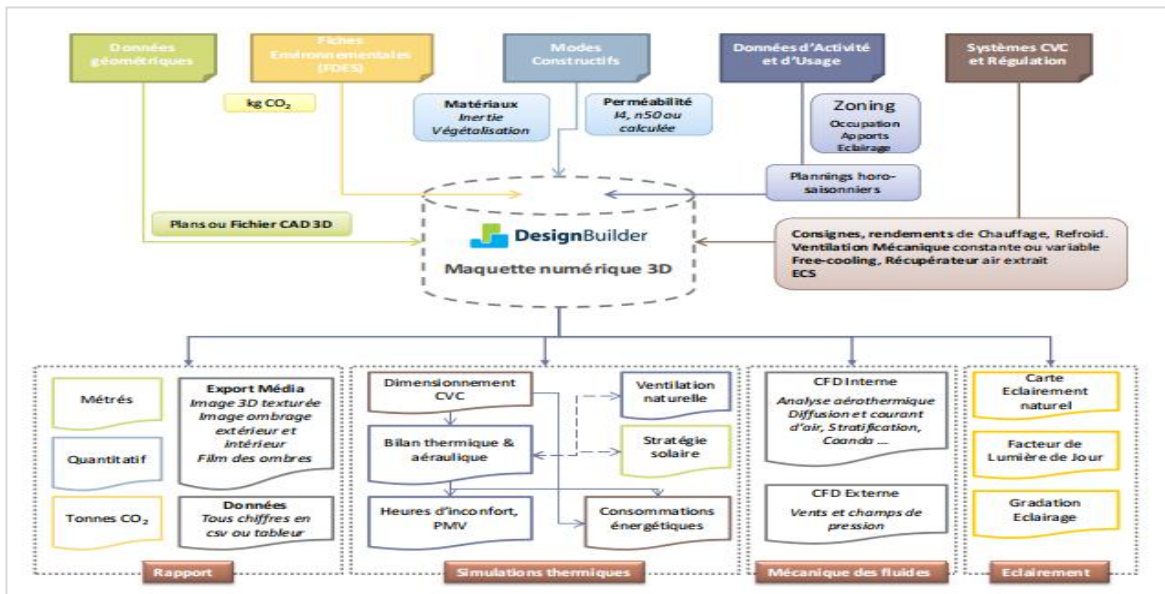


FIGURE 145 : SCHÉMA DE FONCTIONNALITÉ DE DESIGN-BUILDER, SOURCE : [HTTPS://WWW.BATISIM.NET](https://www.batisim.net)

➤ Fonctionnalités clés :

- Simulation thermique dynamique (STD).
- Analyse du confort thermique et visuel.
- Étude des consommations énergétiques.
- Intégration de données météorologiques locales.

b. Présentation de Météo-norme :

Météo-norme est un logiciel spécialisé dans la génération et le traitement de données météorologiques pour les simulations thermiques et énergétiques. Son utilisation dans cette étude se justifie par :

- Données climatiques localisées : Génération de fichiers météorologiques horaires représentatifs de la région de Boufarik, prenant en compte les spécificités climatiques locales (température, ensoleillement, humidité, vent).
- Fichiers météorologiques normalisés : Production de fichiers au format compatible avec Design-Builder (format EPW), assurant une intégration harmonieuse des données climatiques dans le processus de simulation sous design Design-Builder (<https://meteonorm.com/en/>).
- Méthodologie d'utilisation



Génération des fichiers météorologiques

Sélection géographique : Localisation précise de Boufarik (coordonnées GPS, altitude)

Paramétrage climatique : Choix des paramètres météorologiques nécessaires à la simulation

Période de référence : Sélection de l'année météorologique typique représentative

Export formaté : Génération du fichier EPW optimisé pour Design-Builder

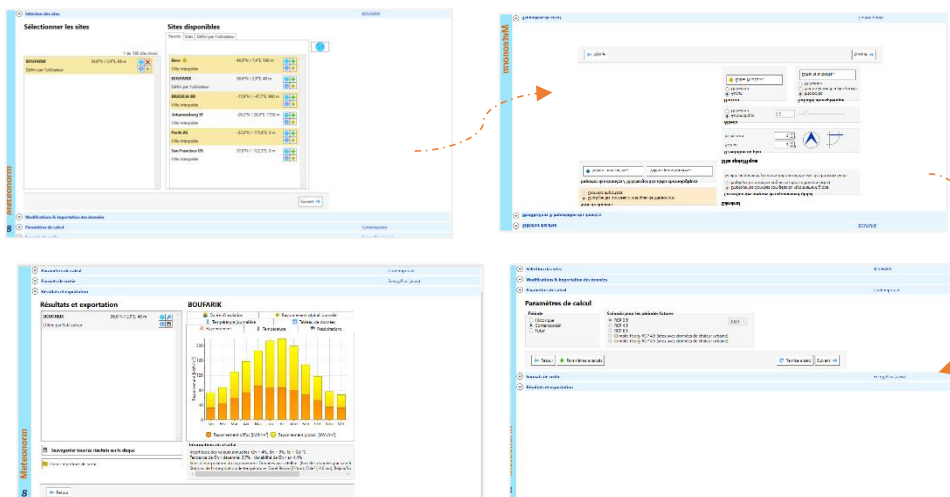


FIGURE 146 : PROCESSUS D'UTILISATION DE MÉTRONOME POUR LE FICHIER EPW

II.4 Processus de la simulation sous Design-Builder :

II.4.1 Méthode de la simulation :

Pour atteindre les objectifs de notre étude, nous avons adopté une démarche structurée visant à analyser le comportement thermique du projet durant la période d'occupation, en tenant compte de divers scénarios d'usage et des conditions climatiques propres à Boufarik. Ce processus s'organise en plusieurs étapes méthodologiques, présentées dans le schéma ci-dessous.

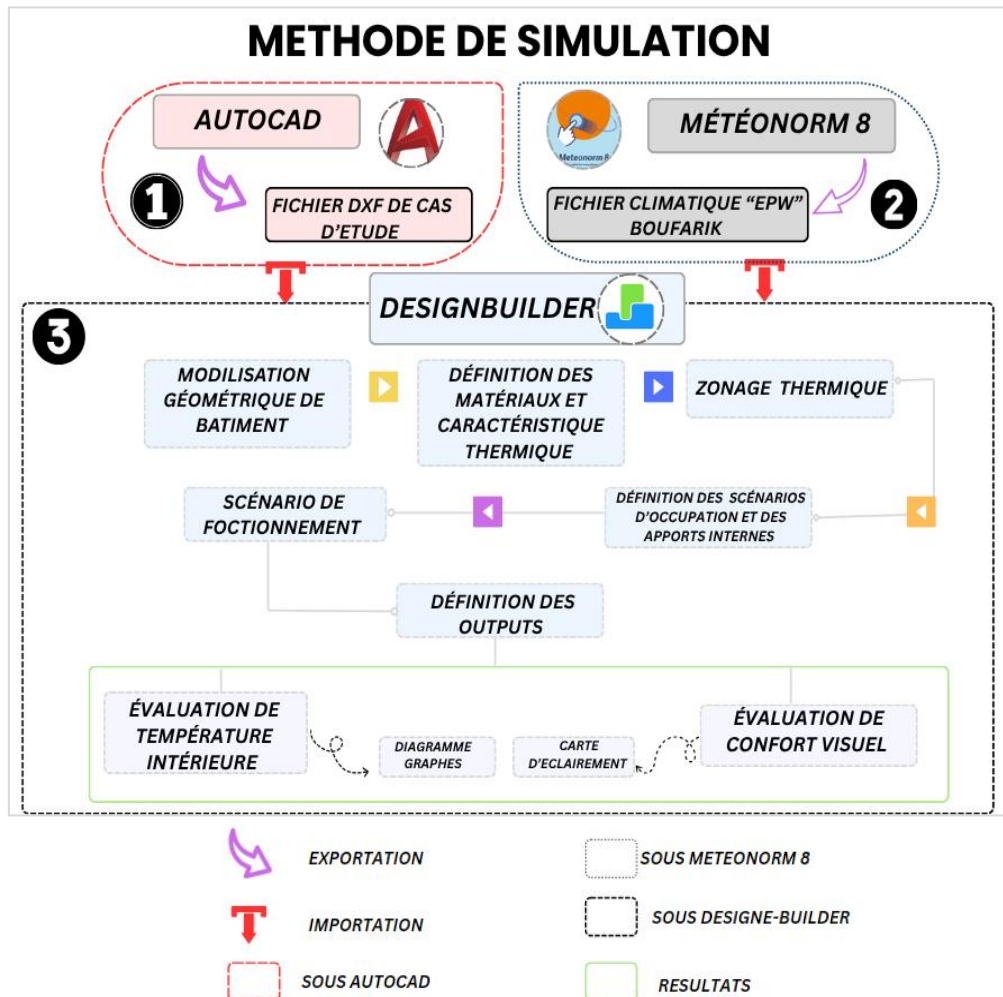


FIGURE 147 : MÉTHODE ET PROCESSUS DE SIMULATION, SOURCE : COUR DE MME KASSA TRAITÉE PAR AUTEURE

II.4.2 Présentation de cas d'étude :

La simulation a été réalisée sur l'ensemble de l'unité pédagogique du projet Learning Spaces situé à Boufarik, comprenant deux salles de classe et un atelier d'apprentissage, reliés par un espace de transition central (SAS). Cette entité représente une cellule fonctionnelle complète du projet, conçue pour favoriser l'apprentissage actif, l'échange et l'autonomie des élèves.

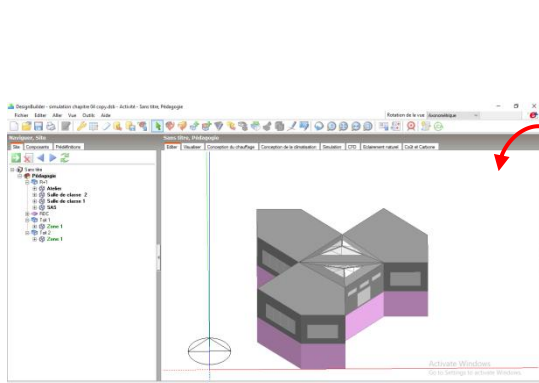


FIGURE 149 : MODÉLISATION 3D CAS D'ÉTUDE DANS DESIGN-BUILDER, SOURCE : AUTEURE

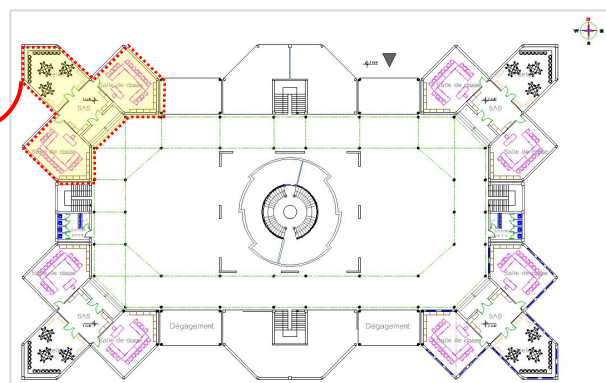


FIGURE 148 : L'EMPLACEMENT DE CAS D'ÉTUDE DANS LE PLAN, SOURCE : AUTEURE

a. Découpage de projet en zones thermique :

Le choix s'est porté sur les salles de classe situées au dernier étage de l'unité pédagogique. Cette sélection repose sur leur positionnement stratégique dans le projet, puisqu'elles constituent le cas le plus défavorable du point de vue du confort visuel et thermique.

En effet, ces espaces sont directement exposés aux conditions extérieures sur plusieurs façades, sans la protection apportée par des niveaux supérieurs. Leur exposition accrue au rayonnement solaire, aux variations de température et à l'éblouissement potentiel en fait des zones critiques nécessitant une attention particulière en matière de conception et de traitement de l'enveloppe.

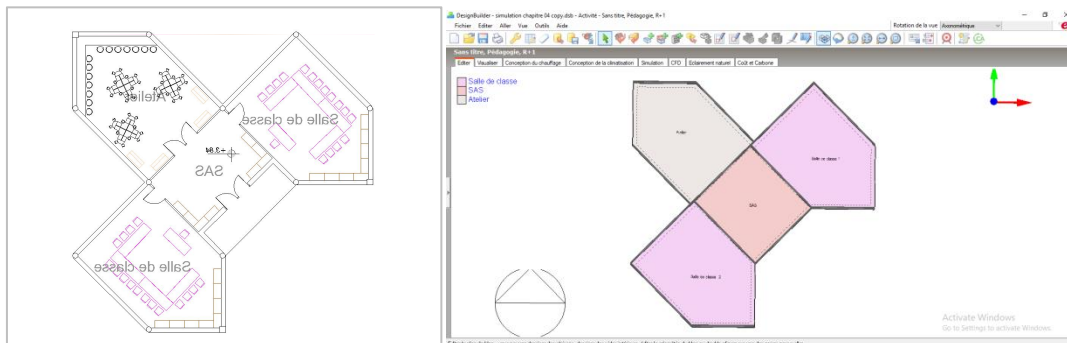


TABLEAU 6 : ZONAGE THERMIQUE DE CAS D'ÉTUDE, SOURCE : AUTEURE

	Zones	Dimensions	Orientation
1	Salle de classe 1	60 m ²	Nord-Ouest
2	Salle de classe 2	60 m ²	Nord-Ouest
3	Atelier	60 m ²	Nord-Ouest
4	SAS	48 m ²	Nord-Ouest

b. Caractéristiques thermiques des matériaux :

TABLEAU 7 : CARACTÉRISTIQUES DES MATÉRIAUX, SOURCE : AUTEURE

Élément	Matériaux	Épaisseur (cm)	λ (W/m·K)	Densité (kg/m ³)	Remarques
Mur extérieur	Enduit chaux NHL	2	0,6	1400	Écologique, respirant
	Isolant liège	5	0,040	120	Isolant naturel
	Béton cellulaire	25	0,12	500	Léger, bon isolant
	Plâtre (intérieur)	1.5	0,30	850	Finition classique
Mur intérieur	Plâtre	1.5	0,30	850	Finition intérieure
	Béton cellulaire	15	0,30	600	Cloison léger à moyen

	Plâtre	1.5	0,30	850	Finition intérieure
Plancher bas	Isolant XPS	5	0,035	30	Selon le choix
	Dalle béton armé	12	1,75	2200	Béton structurel
	Chape	5	0,8	1800	Finition sol
Plancher extérieur	Isolant XPS	5	0,035	30	Résistant à l'humidité
	Dalle béton armé	15	1,75	2200	Exposé à l'extérieur
	Carrelage antidérapant	2	1,2	2000	Surface finale

II.4.3 Variantes étudiées :

a. Choix des variantes étudiées :

Dans le cadre de notre démarche d'optimisation du confort visuel au sein du projet, l'étude s'est axée sur l'évaluation de l'impact de différents types de vitrages sur la qualité de l'éclairage naturel et le comportement thermique des espaces. Ce choix permet d'identifier les solutions les plus performantes en termes d'apport lumineux, de réduction et de l'éblouissement, tout en assurant un équilibre entre confort visuel et performance énergétique.

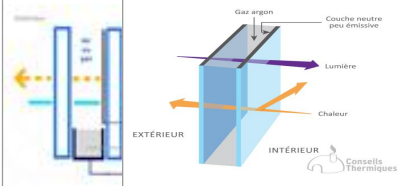
Donc, le nombre de simulations nécessaires à lancer sont 3 simulations selon les 3 types de vitrage.

Les simulations ont été réalisées en prenant en considération la période hivernale, en raison de la demande de chauffage et de d'éclairage que nous avons observée d'après les diagrammes psychrométriques de GIVONI

b. Présentation des variantes étudiées :

TABLEAU 8 : CARACTÉRISTIQUES DES VARIANTES ÉTUDIÉES, SOURCE : AUTEURE

Paramètre	Simple Vitrage	Double Vitrage			Triple Vitrage				
Nombre de couche	1	1	2	3	1	2	3	4	5
Type	Float glass	Low-E-clair	Air16 mm	Float glass	Float glass	Argon	Float glass	Argon	Float glass
Épaisseur (mm)	6	4	16	4	4	12	4	12	4
Conductivité λ (W/m·K)	1.0	1.2	0.9	1.2	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Transmission solaire	0.85	0.6	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Réflexion solaire extérieur	0.07	0.15	0.15	0.15	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Réflexion solaire intérieur	0.07	0.15	0.25	0.15	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Transmission	0.9	0.70	0.80	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70

du rayonnement visible									
Réflexion visible extérieur	0.08	0.15	0.15	0.15	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Réflexion visible intérieur	0.08	0.15	0.13	0.15	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Transmission des infrarouges	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Émissivité extérieur	0.84	0.1	0.1	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Émissivité intérieur	0.84	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Illustration									

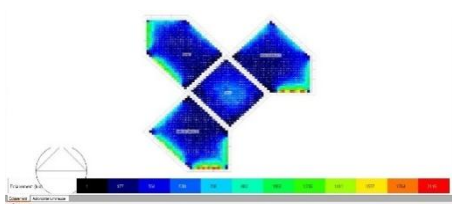
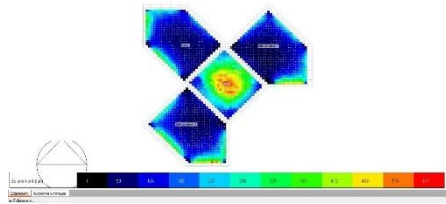
II.5 Résultats obtenus et discussion :

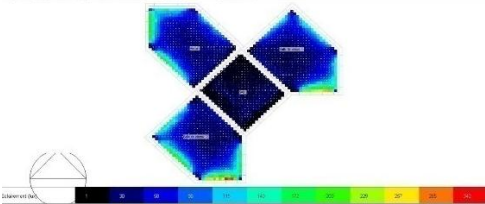
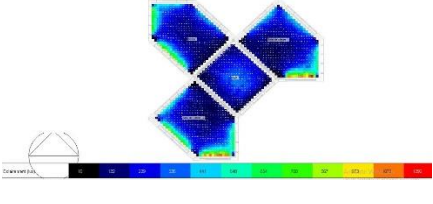
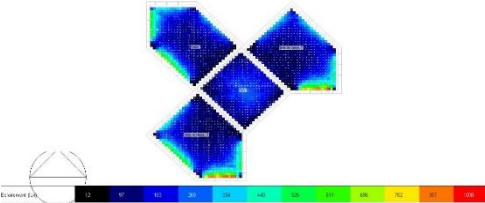
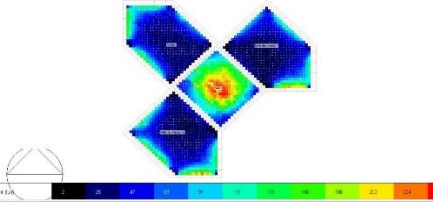
II.5.1 Effet de type de vitrage sur le confort visuel :

Selon la Norme EN 12464-1 « éclairement », la valeur d'éclairement doit être comme suit :

- Activités générales en salle de classe et ateliers : 300 – 500 lux
- Sas : 100 lux

TABEAU 9 : RÉSULTATS DE SIMULATION SUR DÉFFÉRENTS SCÉNARIOS, SOURCE: AUTEURE

Type de vitrage	Carte d'éclairement Avec protection	Carte d'éclairement Sans protection
Simple		

Interprétation	- Sas 300-600 lux (jaune à rouge) trop élevé → risque d'éblouissement - Salles de classe 50-200 lux (bleu foncé à clair) Insuffisant → éclairage non conforme - Atelier 50-150 lux→Insuffisant	- Sas 1-177 lux (noir à bleu foncé) Insuffisant → sous-éclairage, non conforme - Salles de classe 177-706 lux (bleu à vert/jaune) Partiellement conforme → zones centrales insuffisantes, bords suréclairés - Atelier 177-706 lux Partiellement conforme → hétérogène, risque d'éblouissement près des fenêtres
Double		
Interprétation	- Sas= 1-86 lux (noir à bleu foncé)Insuffisant→sous-éclairage, non conforme - Salles de classe= 58-200 lux (bleu foncé à cyan) Insuffisant→éclairage non conforme - Atelier 58-200 lux= Insuffisant également	- Sas =16-229 lux Partiellement conforme → majorité sous-éclairée, bords acceptables - Atelier = 300-654 lux (vert à jaune) Optimal → niveaux d'éclairage adaptés aux besoins - Salles de classe 300-650 lux Optimal →éclairage conforme et suffisant, zones bien éclairées avec un bon équilibre lumière naturelle
Triple		

Interprétation	- Sas= 1-86 lux (noir à bleu foncé) Insuffisant→sous éclairage, non conforme - Salles de classe= 58-200 lux (bleu foncé à cyan) Insuffisant→éclairage non conforme - Atelier 58-200 lux= Insuffisant également	- Sas =180 - 268 lux Conforme. L'éclairage est largement suffisant et même un peu au-dessus du besoin - Atelier = 158 lux (bleu foncé à vert clair) Non conforme (insuffisant). Similaire aux salles de classe. - Salles de classe 158 lux (bleu foncé à vert clair) Non conforme (insuffisant). L'éclairage est largement insuffisant
----------------	--	--

Synthèse :

Suite aux différentes simulations réalisées sur l'éclairage naturel des espaces pédagogiques, il apparaît clairement que le simple vitrage sans protection ne permet pas de répondre aux exigences de la norme EN 12464-1. Bien que certaines zones comme le sas soient fortement éclairées, les salles de classe et les ateliers présentent des niveaux d'éclairage inférieurs aux seuils recommandés (300 à 500 lux), ce qui compromet le confort visuel et l'efficacité des apprentissages.

En revanche, les simulations effectuées avec du double vitrage ont montré un meilleur équilibre entre apport lumineux et protection contre l'éblouissement. Grâce à ses meilleures performances en termes de transmission lumineuse contrôlée, le double vitrage permet d'atteindre des niveaux d'éclairage conformes aux normes tout en réduisant les risques de surchauffe et de reflets gênants.

Ainsi, le double vitrage s'impose comme la solution optimale, car il :

- * Garantit un éclairage naturel conforme aux standards en vigueur,
- * Améliore le confort visuel dans les espaces d'apprentissage,
 - ❖ L'analyse de l'éclairage dans DesignBuilder montre uniquement le potentiel de la lumière naturelle. Elle est essentielle pour évaluer la qualité du confort visuel passif (sans consommation d'énergie), mais ne suffit pas à elle seule pour assurer les 300-500 lux requis selon les normes. C'est pour cela, nous avons décidé de calculer le nombre de luminaire nécessaire pour un meilleur confort visuel.

II-5-2- Besoin en éclairage artificiel :

Après évaluer le taux d'éclairage assuré par l'éclairage naturel, nous avons présenté par la suite une solution complémentaire par l'éclairage artificiel prévue dans les zones déficitaires.

Méthode manuelle : $E = \Phi / (A \times UF \times MF)$

Où :

- E = éclairage souhaité (en lux)
- Φ = flux lumineux total nécessaire (en lumens)
- A = surface (en m²)
- UF = Utilisation factor (souvent entre 0.6–0.8)
- MF = Maintenance factor (souvent 0.8)

TABEAU 10 : DONNÉS NÉCESSAIRES POUR CALCULER LES BESOINS LUMINAIRE

Symbole	Signification	Valeur typique
E	Éclairage requis	300-500 lux (minimum)
A	Surface de la pièce	60 m ²
UF	Coefficient d'utilisation	0.6 à 0.8 (ex. 0.7)
MF	Coefficient de maintenance	0.8

TABEAU 11 : CALCULE DE NOMBRE DE LUMINAIRE, SOURCE : AUTEURE

Type d'éclairage	Luminance	Nombre de luminaire
E= 300 lux	$\Phi=300 \times 60 / (0.7 \times 0.8) = 32143$ lumens	$32143 / 5000 = 6.4$
E = 500 lux	$\Phi=(500 \times 60) / 0.7 \times 0.8 = 53571$ lumens	$53571 / 5000 = 10.71$

Choix de luminaire : Panneaux LED de plafond 60×60 cm (5000 lumens)

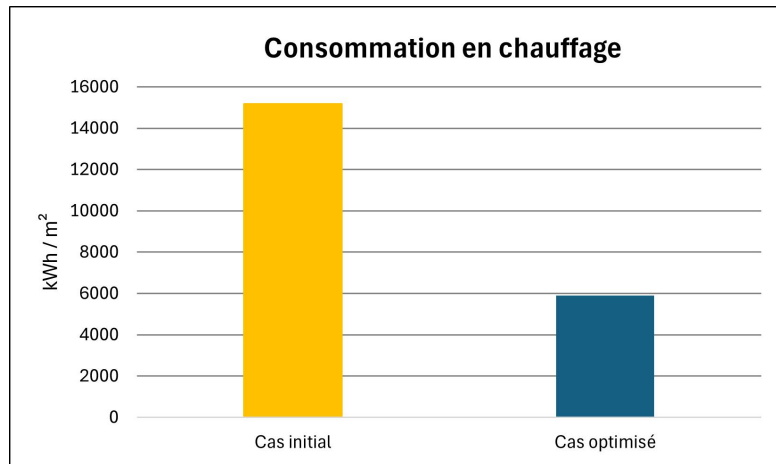
Donc on a

- 6 à 7 panneaux LED 60×60 cm de 5000 lumens pour E=300 lux
- 10 à 11 panneaux LED 60×60 cm de 5000 lumens pour E=500 lux

II.6 Performance énergétique:

Vue que les établissements scolaires en Algérie, sont doté de chauffage actif, nous avons décidé de présenter les consommations en chauffage pour le cas initial et celui optimisé afin de démontre la performance énergétique de double vitrage dans notre cas d'étude.

Les consommations en chauffage sont illustrées dans la figure suivante, qui présentent les résultats pour le cas initial (simple vitrage) et le cas optimisé (double vitrage) :



Après avoir évalué les besoins en chauffage, il est apparu que le double vitrage a entraîné une réduction significative de la consommation d'énergie. Dans le cas initial, la consommation d'énergie pour le chauffage était de 15174.81 kWh. Après avoir installé modifier le type de virage, la consommation d'énergie pour le chauffage a été réduit à 5899.51 kWh, marquant une diminution de 9275.30 kWh.

Cette efficacité démontre l'impact significatif du type de vitrage bien choisie dans la réduction des consommations énergétiques, permettant à la fois des économies financières et un confort visuel optimal.

Conclusion générale

Dans ce travail présenté, nous avons tenté de répondre à une problématique sous la thématique intitulée « Amélioration de la performance énergétique et du confort visuel des établissements éducatifs », où notre recherche s'inscrit dans une double démarche, d'une part, c'est la conception d'un quartier durable qui préserve le patrimoine bâti, et d'autre part l'amélioration de l'environnement intérieur des espaces d'apprentissage.

En réponse à ces préoccupations, nous avons proposé la conception d'un *Learning Spaces* intégré dans un éco-quartier dans la ville Boufarik. L'objectif principal était de repenser l'architecture scolaire à travers une approche bioclimatique et durable, en plaçant le bien-être de l'élève au cœur de la conception architecturale.

Pour cela, nous avons s'appuyer sur la lecture urbaine et environnementale du site, afin d'identifié les contraintes et les opportunités du contexte local, qui nous ont permis de définir une stratégie d'implantation cohérente avec les enjeux climatiques, sociaux et éducatifs.

A travers notre projet, nous avons abordé l'optimisation de l'éclairage naturel, la consommation énergétique, l'orientation, la ventilation naturelle, les vitrages performants, les protections solaires, qui favorisent le confort thermique et visuel tout en réduisant l'empreinte énergétique du bâtiment.

Nous avons examiné le confort visuel et la performance énergétique de notre projet à travers la simulation thermique dynamique (STD) via le logiciel DesignBuilder, ainsi que les analyses de l'éclairement naturel selon la norme EN 12464-1. Les résultats ont permis de valider les choix techniques et architecturaux, et de démontrer l'efficacité des stratégies appliquées. Ces résultats confirment que l'amélioration du confort des usagers peut être obtenue principalement par des choix passifs, sans recourir à des systèmes mécaniques coûteux.

Vérification des hypothèses :

Au premier chapitre nous avons évoqué trois problématiques intitulées «**Comment concevoir un quartier durable tout en préservent son patrimoine bâti et son valeur environnementale ?** », «**Comment repenser les établissements scolaires à Algérie pour favoriser l'innovation pédagogique tout en améliorant la qualité de l'environnement intérieur et le bien-être des usagers ?** », «**Comment optimiser le confort visuel et mettre en œuvre des stratégies de gestion énergétique durables pour améliorer les conditions d'apprentissage tout en réduisant l'empreinte écologique des établissements scolaires ?**» et pour cela, nous avons fait recours à l'échelle urbain au concept de l'éco-quartier, et à l'échelle architectural à l'optimisation de confort visuel et de la consommation énergétique. Et à travers nos recherches théoriques, et les simulations

réalisées nous avons pu confirmer que l'hypothèse énoncée est vérifiées.

PERSPECTIVES DE LA RECHERCHE :

Ce travail, bien qu'encore perfectible, ouvre la voie à de nouvelles réflexions sur le lien entre environnement d'apprentissage, durabilité et qualité architecturale. Il met en lumière la nécessité de concevoir des espaces éducatifs résilients, ancrés dans leur territoire, capables de répondre aux défis climatiques et pédagogiques de demain. Il ouvre également des perspectives de recherche futures autour de l'architecture scolaire durable, de l'innovation spatiale et des politiques d'aménagement éducatif en milieu urbain.

Le projet architectural développé répond non seulement aux besoins actuels des établissements scolaires, mais constitue également une proposition reproductible pour de futurs projets éducatifs durables en Algérie.



BIBLIOGRAPHIE



I. Ouvrages et monographies

- ADEME & AREL, 2008. *Guide de l'éco-construction*. Journal Officiel.
- Association Française de l'Éclairage, 1987. *Recommandations relatives à l'éclairage des locaux scolaires*. Paris : LUX.
- Dontewille, F., Houchot, A. & SETEC Organisation (dirs.), 1998. *Concevoir et construire une école primaire*. Paris.
- Liébard, A. & De Herde, A., 2008. *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique*. Paris : Le Moniteur.
- Sidler, O., 2005. *Guide de la simulation thermique dynamique des bâtiments*. Energetech.
- Stine, S., 1997. *Landscape for Learning: Creating Outdoor Environments for Children and Youth*. New York : John Wiley & Sons.
- Trumelet, C., 1862. *Bou-Farik*. Paris : Librairie Militaire de J. Dumaine.

II. Articles et publications scientifiques

- Auteur non précisé, 2021. *La conception bioclimatique des écoles : un mécanisme efficace pour la protection de l'environnement et la santé de l'enfant*. *Architecture et environnement de l'enfant*.
- Berger, D. & Peuportier, B., 2009. *La simulation thermique dynamique pour l'évaluation environnementale des bâtiments*. *Revue de l'Énergie*, (596).
- Hod, Y., 2017. *Future Learning Spaces in Schools: Concepts and Designs from the Learning Sciences*. *Journal of Formative Design in Learning*, 1(2), pp. 99–109.

III. Thèses et mémoires

- Bacha, N.K. & Berchiche, Y., 2023. *Conception d'un bâtiment à basse consommation énergétique – P.F.E : The Bio Showcase Hotel, Cas de Cap Tizzirine, Cherchell*. Mémoire de Master en Architecture, Université Saad Dahleb Blida.
- Hadj Mihoub Sidi Moussa, H. & Bouamra-Souna, C., 2023. *Impact de la végétation et des dispositifs de refroidissement passifs sur l'amélioration du confort hygrothermique – P.F.E : Conception d'un parc oasien de loisirs culturels dans le climat aride de la ville de Laghouat*. Mémoire de Master en Architecture, Université Saad Dahleb Blida.

IV. Documents d'urbanisme

- PDAU Boufarik. *Rapport de PDAU Boufarik. *Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme de Boufarik*.
- POS Boufarik. *Plan d'Occupation des Sols de Boufarik*.
- Rapport Final POS1 Boufarik, 2010. *Rapport de présentation du POS de Boufarik – version finale*.

V. Guides, rapports et manuels

- CAUE, s.d. *École maternelle et primaire Sainte-Thérèse – Fiche de l'Observatoire CAUE*.
- DDT 65, 2023. *Guide d'intégration des installations solaires sur le bâti dans les Hautes-Pyrénées*.
- DesignBuilder Software Ltd., 2020. *DesignBuilder Manual – Version 5*. [Manuel utilisateur, non publié].
- IUT, 2018. *180312-IUT-SN-Bioclimatisme*. Rapport pédagogique [non publié].

VI. Sites Internet et ressources en ligne

- Agir pour une école soutenable, s.d. *Pédagogies, méthodes et approches*. Disponible sur : <https://agir-ese.org/methode/pedagogies-methodes-et-approches>
- Archiclasse.education, s.d. *Plateforme dédiée à l'aménagement des espaces éducatifs*.

Disponible sur : <https://archiclasse.education.fr>

City Formation, s.d. *Qu'est-ce que la pédagogie dite moderne ?* Disponible sur : <https://city-formation.fr/la-pedagogie/quest-ce-que-la-pedagogie-dite-moderne/>

Développement scolaire, s.d. *La conception d'espaces d'apprentissage personnalisés – théorie et pratique*. Disponible sur : <https://www.developpement-scolaire.lu/dds-resources/la-conception-despaces-dapprentissage-personnalises-theorie-et-pratique/>

Lightzoomlumière, s.d. *École et architecture : comment bâtir une école – lumière et éclairage*. Disponible sur : <https://www.lightzoomlumiere.fr/article/ecole-architecture-comment-batir-ecole-guide-lumiere-et-eclairage>

Meteonorm, s.d. *Meteonorm: Global Meteorological Database for Solar Energy and Building Simulation*. Disponible sur : <https://meteonorm.com>

Singapore International School, s.d. *Thonburi Campus*. Disponible sur : <https://sisb.ac.th/singapore-international-school-thonburi-campus/>

Sofareb, s.d. *Qu'est-ce qu'une voile d'ombrage architecturale ?* Disponible sur : <https://www.sofareb.com/quest-ce-quune-voile-dombrage-architecturale/>

VII. Documents techniques et non publiés

INFO_20680_20Boufarik, s.d. *Document technique ou administratif relatif à Boufarik*. [Non publié en ligne].

VIII. Logiciels utilisés

Autocad 2016

Climate Consultant 6.0

DesignBuilder 7

Lumion 0.6

Meteonorm 8

Photoshop 2020

Revit 2019

SketchUp 2022



ANNEXES



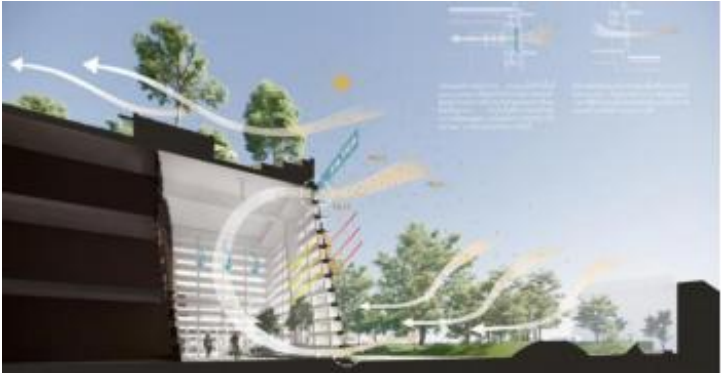
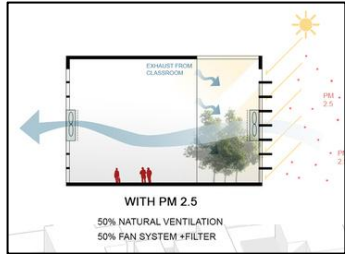
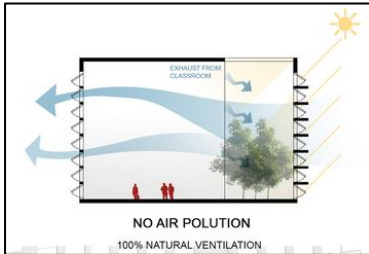
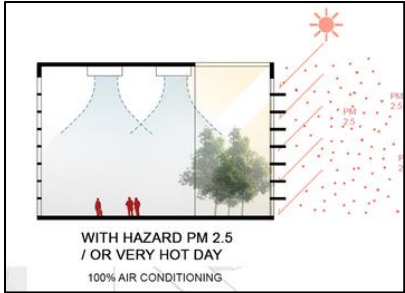
Annexe 01 : Analyse des exemples « Éco quartier »

Exemple 02: Le quartier Odyssée Rive Gauche		
Fiche technique	Principes liés à l'urbain	Principes liés à l'environnement
Nom de projet : Odyssée Rive Gauche Type d'équipement : Ensemble immobilier mixte comprenant des logements, des bureaux et des commerces Date : Projet initié en 2006, avec des livraisons récentes Localisation : Avenue Raymond Dugrand, quartier Port Marianne, Montpellier, France Capacité : 161 logements (dont 50 logements locatifs sociaux, 39 abordables et 72 libres), 3 500 m² de bureaux dédiés à la French Proptech, 1 000 m² de rez-de-chaussée actifs	Situé au cœur du quartier Port Marianne, Odyssée Rive Gauche bénéficie d'une localisation stratégique entre le Lez et l'avenue Raymond Dugrand. Ce quartier dynamique est bien desservi par les transports en commun, permettant de rejoindre la place de la Comédie en 10 minutes depuis l'arrêt de tramway Pablo Picasso. Proche du centre-ville et de la mer, le quartier offre également un accès facile à l'autoroute A9, à la gare TGV et à l'aéroport Montpellier Méditerranée.	Ensoleillement et ventilation naturelle : Les résidences, telles que L'Apogée, Skylab et Le Mirage, sont conçues par des agences d'architectes montpelliéraines privilégiant l'épure et la lumière, assurant ainsi une utilisation optimale de la lumière naturelle et une ventilation efficace. Végétation : L'Apogée se distingue par ses terrasses végétalisées en cascade, offrant des espaces verts privés aux résidents et contribuant à l'esthétique du bâtiment. Gestion des eaux : Bien que les sources consultées ne détaillent pas spécifiquement les mesures de gestion des eaux, l'intégration de terrasses végétalisées suggère une attention portée à la gestion durable des eaux pluviales. Mixité fonctionnelle : Le projet intègre des logements, des bureaux et des commerces, favorisant une diversité d'usages et une animation continue du quartier.



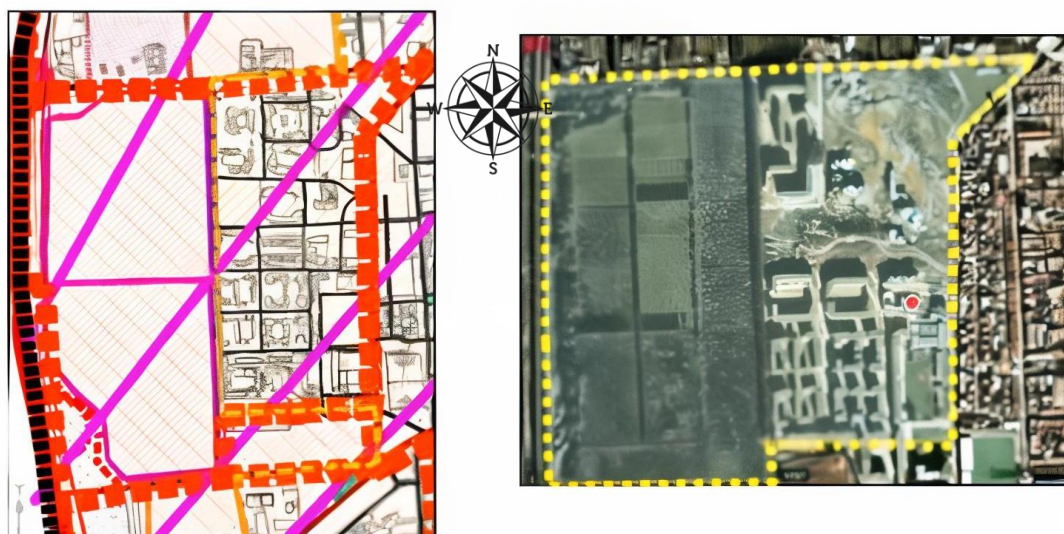
Exemple 03 : ZAC des Docks de Saint-Ouen		
Fiche technique	Principes liés à l'urbain	Principes liés à l'environnement
Nom de projet : ZAC des Docks de Saint-Ouen Type d'équipement : • Écoquartier mixte (logements, bureaux, commerces, équipements publics) Date : Lancement en 2007 ; premières livraisons en 2013 ; achèvement prévu vers 2025 Localisation : Saint-Ouen-sur-Seine (93), en bordure de la Seine, entre Clichy-sur-Seine et la mairie de Saint-Ouen, France Surface : Environ 100 hectares Programme : - Environ 7 500 logements, dont 40 % de logements sociaux - 311 000 m² de bureaux et activités économiques - 66 000 m² de commerces et activités en rez-de-chaussée - 52 000 m² d'équipements collectifs et 19 000 m² d'équipements publics - 12 hectares de parc en bord de Seine 	Le quartier des Docks est implanté sur d'anciennes friches industrielles, notamment des sites appartenant à Total. Cette reconversion vise à reconnecter le centre-ville de Saint-Ouen à la Seine, en créant une continuité urbaine et en valorisant les berges du fleuve. Le projet s'inscrit dans une démarche de densification maîtrisée, intégrant des infrastructures existantes telles que le SYCTOM et la CPCU, tout en développant de nouveaux équipements publics et des espaces verts. Cette implantation stratégique favorise une mixité fonctionnelle et sociale, en lien avec les quartiers environnants. 	Ensoleillement et ventilation naturelle : Les bâtiments sont conçus pour optimiser l'apport de lumière naturelle et la ventilation, contribuant ainsi à la performance énergétique des logements et des bureaux. Végétation : Parc de 12 hectares et nombreux espaces verts pour favoriser la biodiversité et le confort urbain. Gestion des eaux : Système durable de récupération et de filtration des eaux pluviales (noues, bassins, réutilisation pour arrosage). Mixité fonctionnelle : Intégration harmonieuse de logements, commerces, bureaux et équipements publics, assurant une animation continue et une réduction des déplacements.  

Annexe 02 : Analyse des exemples « Learning spaces»

Exemple 02 : SISB THONBU			
Fiche technique	Principes urbains	Principes environnementaux	Principes architecturaux
Nom de projet : Le Singapore International School of Bangkok (SISB) Thonburi Type de projet : École Date : 2022 Localisation : Bangkok, THAILAND Surface : 13200 m² Capacité : 900 élèves Programme : Comprend des salles de classe modernes équipées de tableaux interactifs, un auditorium polyvalent, un gymnase, une bibliothèque, des bureaux administratifs et des espaces communs.	✓ Implantation du projet : Le projet SISB Thonburi Phase II est une extension du campus existant, située à l'intérieur même du site actuel, à Bangkok. - Deux bâtiments sont alignés sur le bord arrière du terrain, créant un grand espace vert partagé entre les deux phases du campus. ✓ Accessibilité : Le site est situé à Bangkok, dans le district de Phasicharoen, sur Ratchamontri Road. - Le campus est desservi par des accès piétons et des circulations couvertes entre les bâtiments, facilitant la mobilité des élèves et du personnel. ✓ Gabarit : La phase II couvre une superficie d'environ 13 200 m². - Le bâtiment principal est conçu avec un couloir double de 8 mètres de large devant chaque salle de classe, offrant un espace commun et de circulation. - Le gabarit est linéaire avec deux parties séparées pour favoriser la ventilation et la lumière naturelle. ✓ Espaces bâtis et non bâtis : - Espaces bâtis : salles de classe, auditorium, gymnase, bibliothèque, bureaux administratifs, salles du personnel, hall commun, et un hall avec gradins pouvant servir de théâtre - Espaces non bâtis : un grand espace vert d'activités entre les deux bâtiments, un toit vert accessible servant d'escalier reliant le sol au sommet, une cour creusée pouvant faire office d'amphithéâtre - L'ensemble du projet intègre un motif ovale qui relie le paysage à l'architecture, créant des zones d'activités variées avec différents terrains pour encourager diverses activités.	1. Ensoleillement : Optimisation de l'orientation, usage de brise-soleil, façades ajourées et grandes baies vitrées pour un éclairage naturel efficace tout en limitant la chaleur. 2. Ventilation naturelle : Ventilation croisée, espaces tampons (couloirs ouverts, halls) et façades perforées favorisent une circulation d'air optimale et réduisent la dépendance à la climatisation. 3. Végétation et espaces verts : Toitures végétalisées, plantations et jardins pédagogiques contribuent à l'isolation thermique, au bien-être et à la sensibilisation environnementale.    	Le design architectural se caractérise par une forme linéaire avec des façades horizontales reliant les bâtiments. Les espaces communs spacieux devant les salles de classe servent à la fois de zones de circulation et d'interaction, favorisant un environnement d'apprentissage flexible. Les salles de classe sont situées au centre des bâtiments, tandis que des installations telles que le gymnase, la cafétéria et l'auditorium se trouvent aux extrémités, optimisant ainsi la circulation et l'utilisation de l'espace    

Exemple 03: Sunflower Kindergarten			
Fiche technique	Implantation urbaine	Volet environnemental	Volet architectural
Nom de projet : Sunflower kindergarten Type de projet : Établissement scolaire maternelle Date : 2020 Localisation : District de Cầu Giấy, Hanoï, Vietnam Surface totale : 1533 m² Capacité : 500 élèves	Le Sunflower Kindergarten est situé dans une zone urbaine dense du district de Cầu Giấy à Hanoï. Le terrain de forme trapézoïdale est entouré sur trois côtés par des bâtiments de grande hauteur, ce qui a influencé la conception architecturale pour optimiser l'utilisation de l'espace et assurer un environnement d'apprentissage adéquat pour les enfants.	1. Ensoleillement : L'orientation sud du bâtiment principal permet une utilisation optimale de la lumière naturelle, réduisant ainsi la dépendance à l'éclairage artificiel et améliorant le confort des occupants. 2. Ventilation naturelle La conception du bâtiment favorise la ventilation croisée, assurant une circulation d'air efficace et un environnement intérieur sain pour les enfants. 3. Végétation et espaces verts : La "Tour de Mouvement" intègre une couverture végétale en son centre, offrant un espace vert aux enfants et contribuant à la qualité de l'air et au bien-être général.	Espaces Pédagogiques <u>Salles de Classe Adaptées :</u> Espaces lumineux et ventilés naturellement, conçus pour un enseignement interactif avec mobilier modulable adapté aux enfants. <u>Bibliothèque Ludique :</u> Un espace de lecture conçu pour éveiller la curiosité et l'imagination des enfants. Espaces de Loisirs et de Socialisation <u>Aire de Jeux Extérieure :</u> Espaces verts avec des structures adaptées aux enfants (balançoires, toboggans, etc.). <u>Cours Intérieures et Terrasses :</u> Zones sécurisées pour les activités en plein air. Espaces pour le Personnel et les Services Annexes Salle des Enseignants et Administration. Infirmierie et Espace de Repos. Sanitaires Adaptés aux jeunes enfants. Organisation : Entrée Principale → Hall d'accueil → Distribution vers les salles de classe et espaces administratifs. Salles de Classe Organisées autour d'une cour centrale pour optimiser la ventilation et l'éclairage naturel. Espaces Extérieurs Accessibles depuis les salles de classe pour favoriser l'apprentissage en plein air.
 	 	  	  

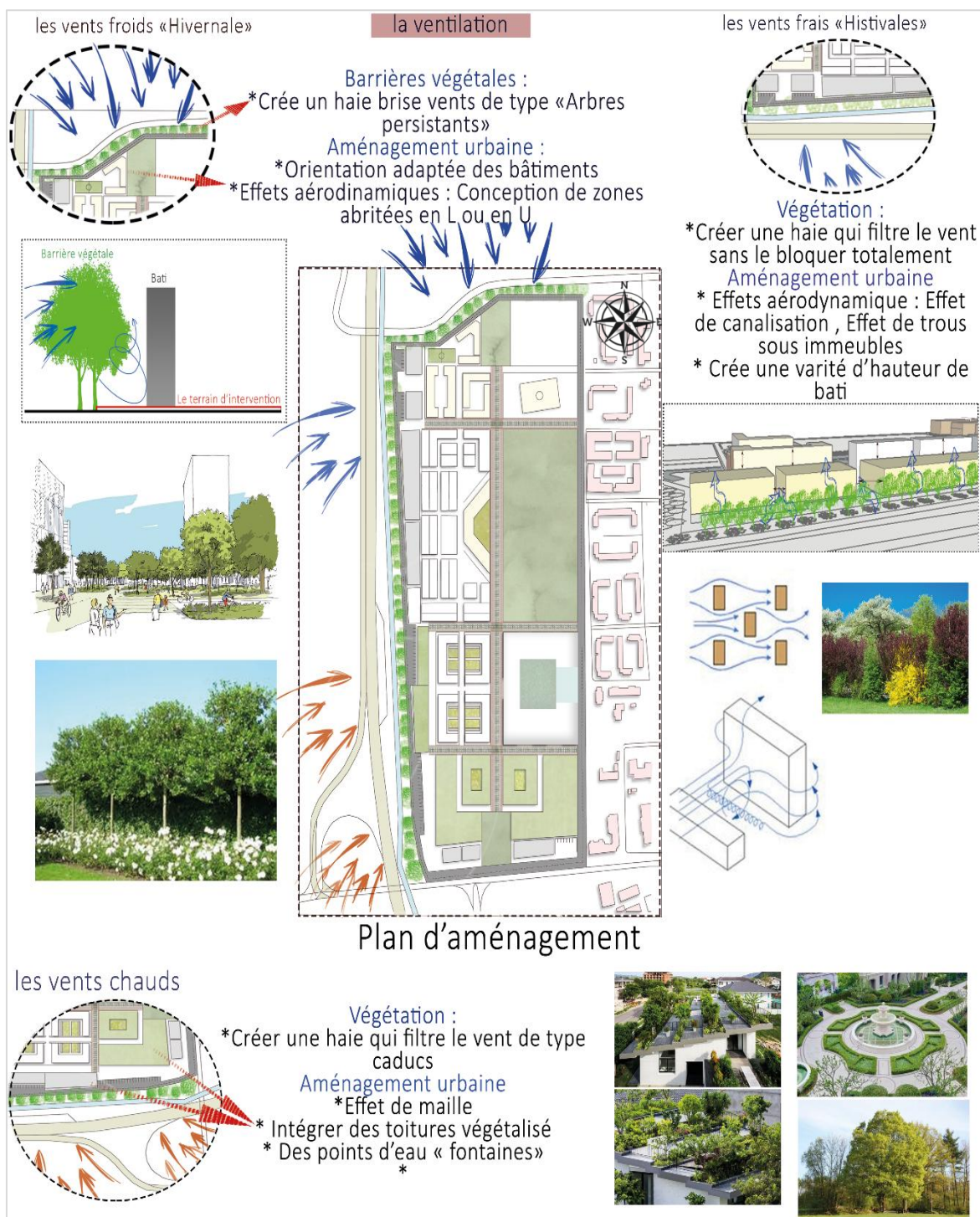
Annexe 03 : Présentation de POS N °01



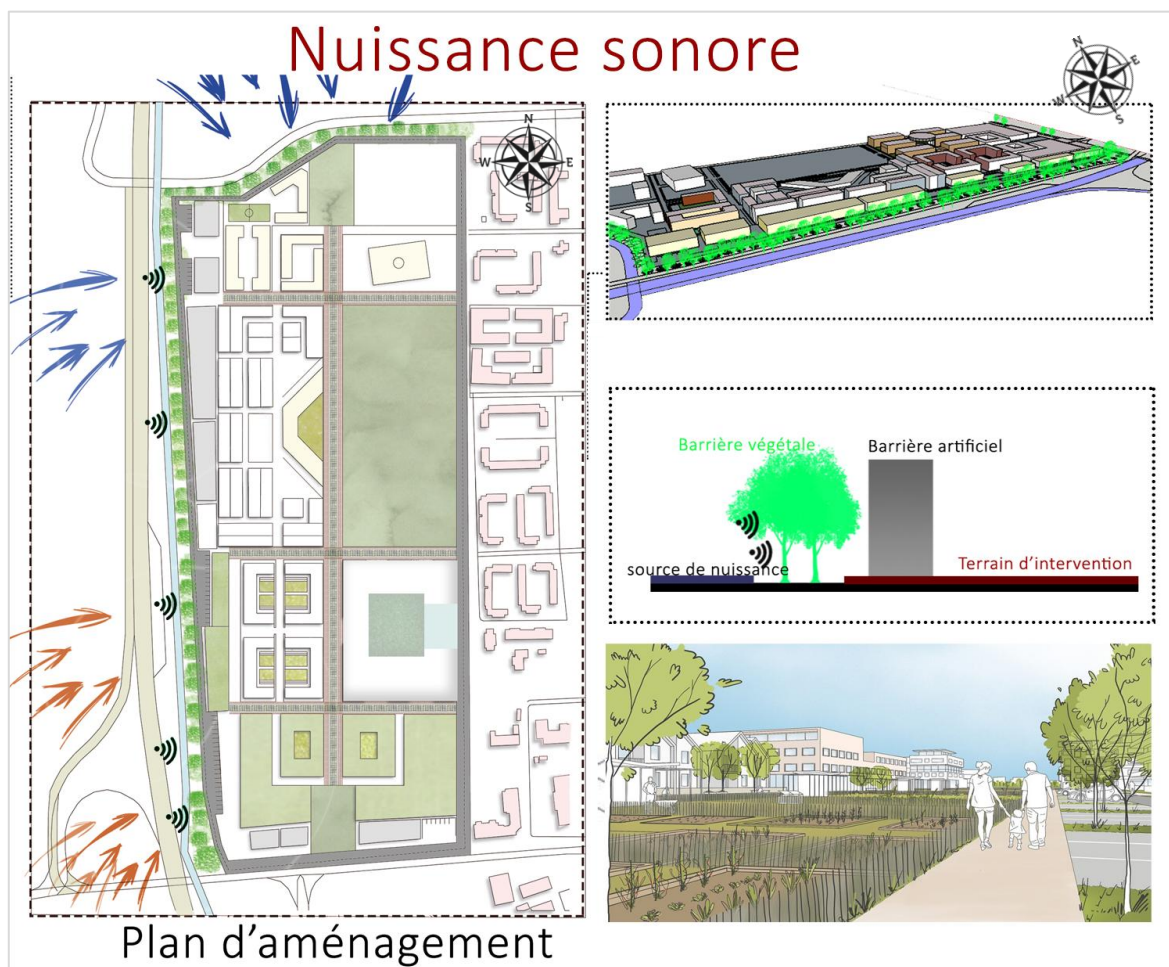
IDENTIFICATION		À Nord Ouest du Chef lieu (POS approuvé)
AIRE D'INTERVENTION		35 Hectares
NATURE D'INTERVENTION		Aménagement ; densification et amélioration urbaine
DELIMITATION	<i>Nord</i>	Voie et tissu urbain et POS n° 2
	<i>Sud</i>	Terrain agricole et Ex camp d'été et POS n° 8
	<i>Est</i>	Ex RN 1 et terrain agricole
	<i>Ouest</i>	Autoroute Alger–Blida
PROGRAMME		■ Une école primaire ■ Un centre culturel ■ Un centre multifonctionnel ■ 1000 logements (densité = 100 logs/He)

FIGURE 150 : POS N °01 ; SOURCE: RAPPORT DE PDAU DE BOUFARIK

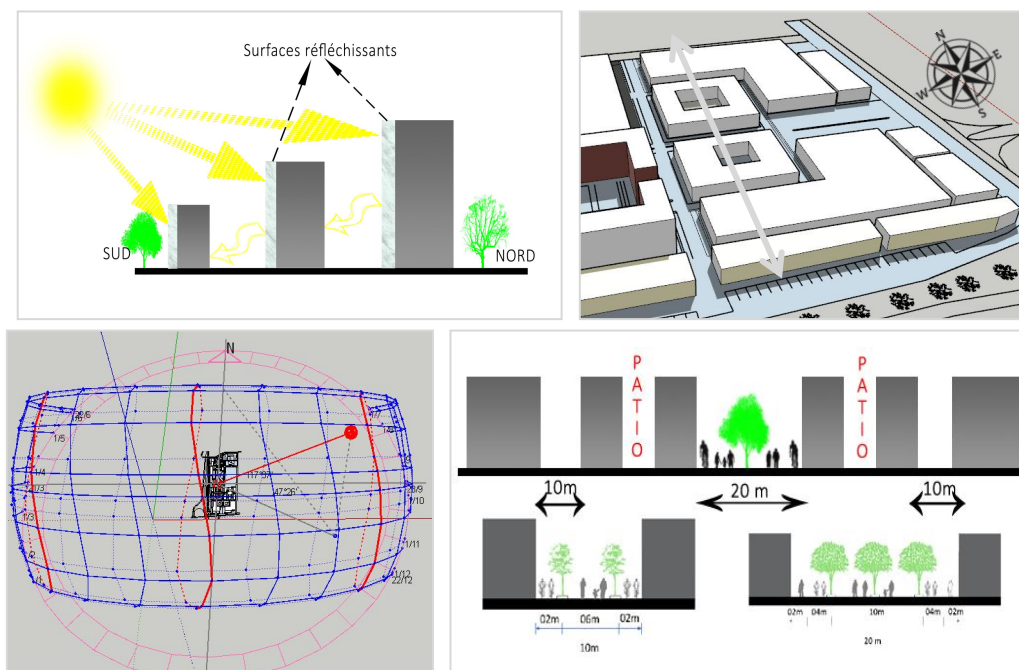
Annexe 04 : Les principes climatiques dans l'éco quartier



Annexe 04 : Nuisance sonore dans l'éco quartier



Annexe 05 : L'ensoleillement



Annexe 06 : Les résultats de simulation « consommation énergétiques »

a. Simple vitrage :

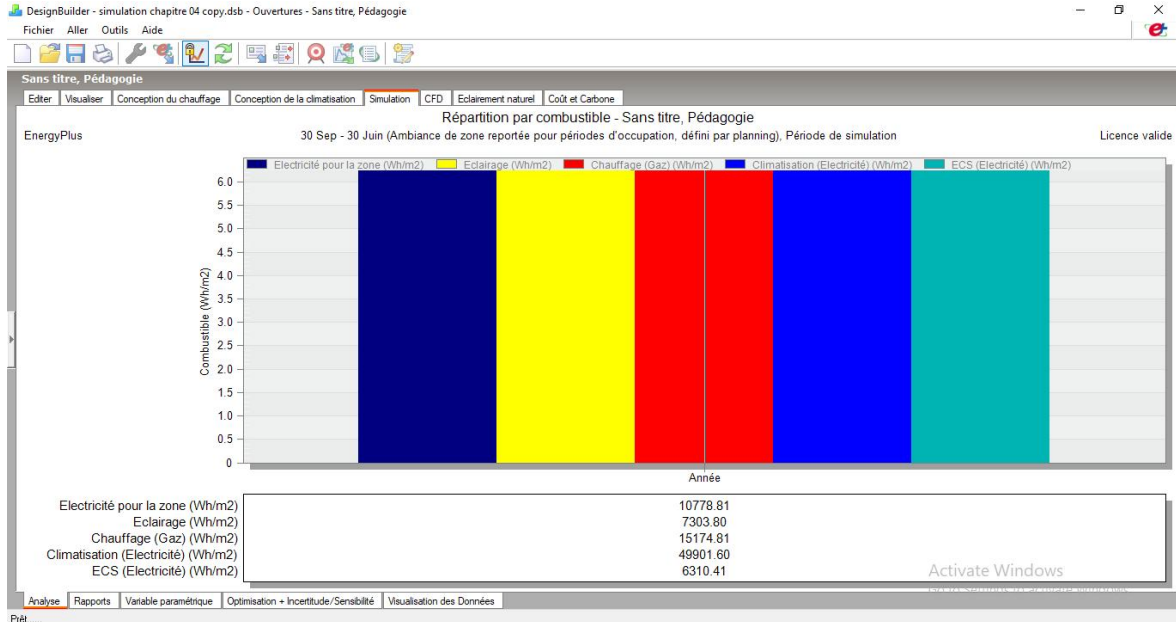


FIGURE 151 : CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE DANS DESIGN BUILDER; SOURCE: AUTEUR

b. Double vitrage :

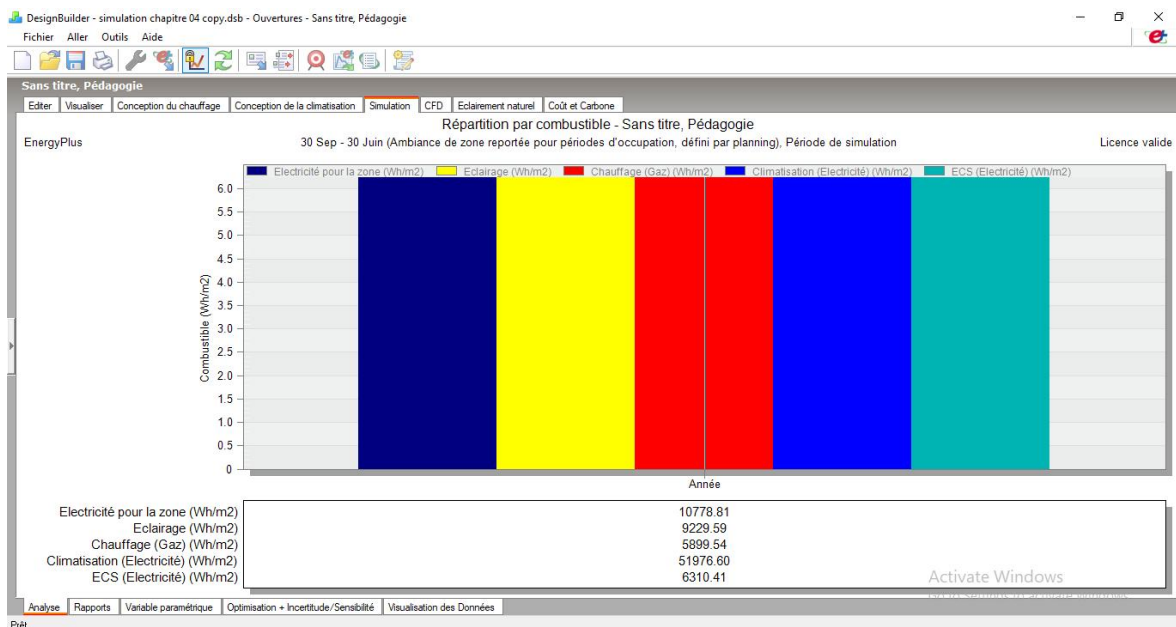


FIGURE 152 : CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE DANS DESIGN BUILDER; SOURCE: AUTEUR

ANNEXE 07 : LES SIMULATIONS D'ÉCLAIRAGE ARTIFICIEL EFFECTUÉES À L'AIDE DE DIA LUX ONT PERMIS D'ANALYSER LES PERFORMANCES LUMINEUSES DES ESPACES

a. Dans la salle de classe : en plan

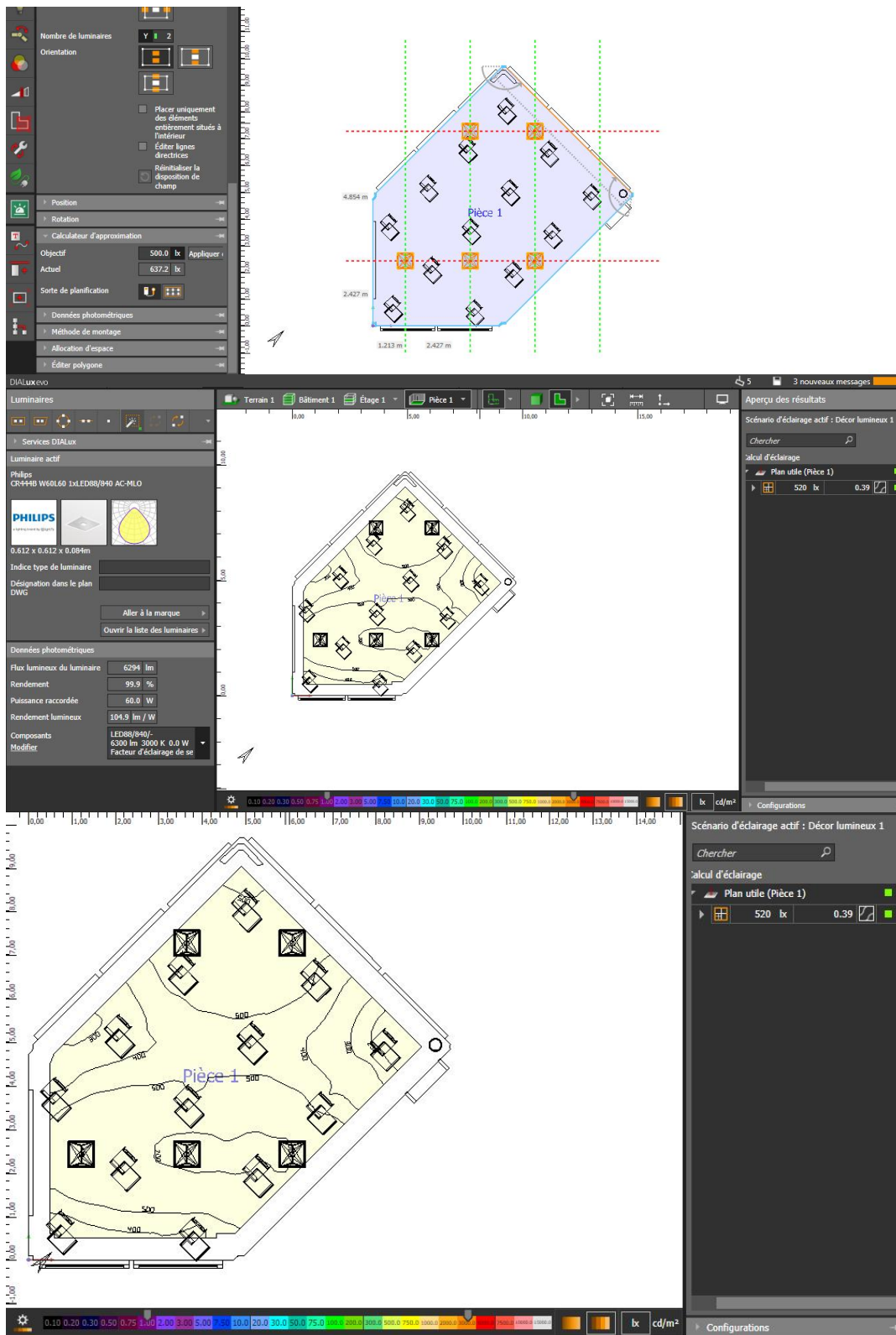


FIGURE 153 : ÉCLAIRAGE ARTIFICIEL DANS LA SALLE DE CLASSE AVEC DIA LUX; SOURCE: AUTEUR

b. Dans la salle de classe : en 3D à l'intérieur

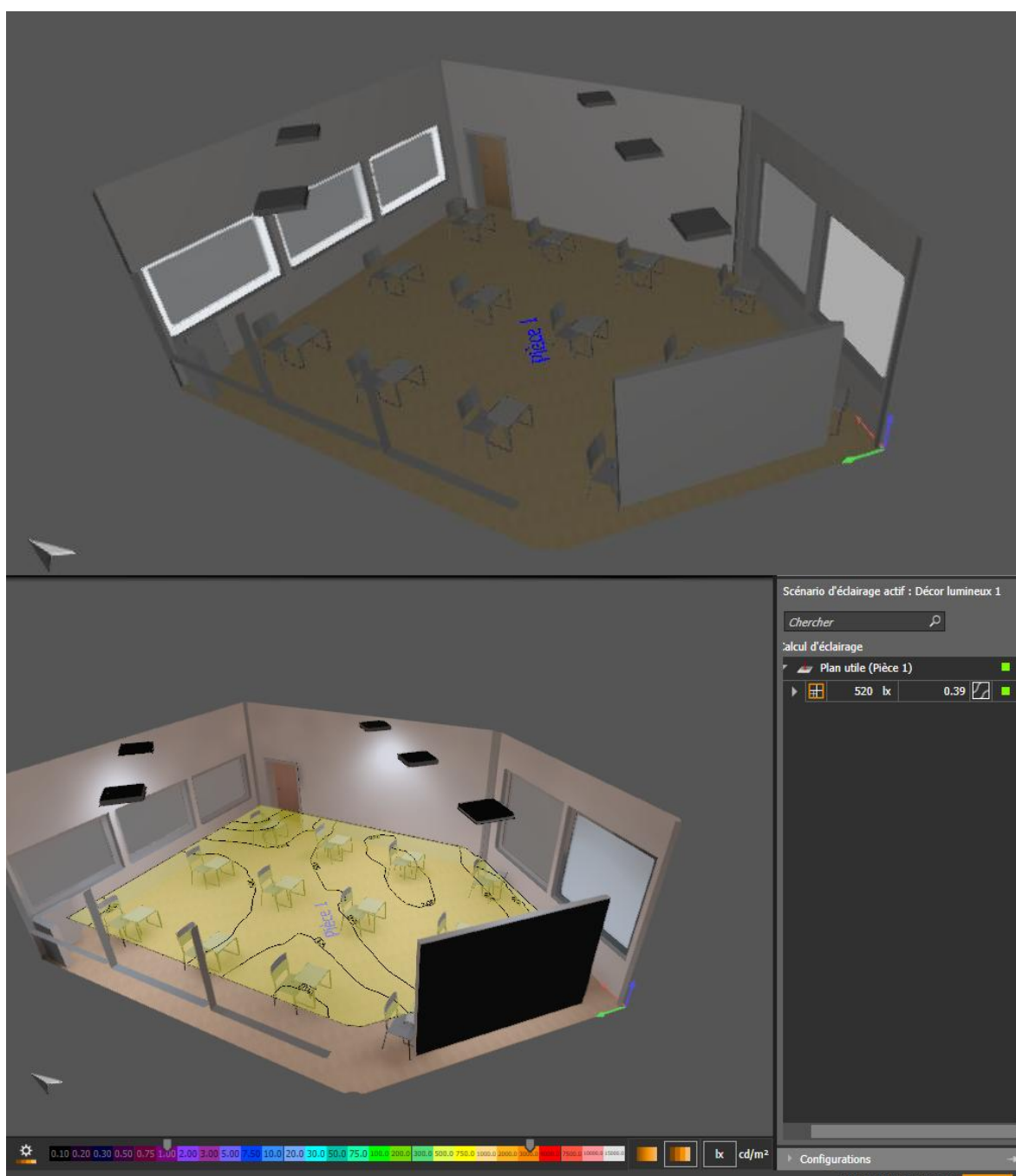


FIGURE 154 : ECLAIRAGE ARTIFICIEL DANS LA SALLE DE CLASSE AVEC DIA LUX; SOURCE: AUTEUR

