



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



Université Larbi Tébessi - Tébessa
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département d'Architecture

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de
master Académique

Domaine : Architecture ,Urbanisme et Métiers de la ville

Filière : Architecture

Option : Architecture

Thème:

**La végétation comme un élément climatiques dans
les cours de récréation,cas d'un groupe scolaire à
tébessa**

Elaboré par : Ilyes berrah

Encadré par : Mr Atef Ahriz

Soutenu devant le jury composé de :

01- ...Gherbi Mouhamed.....	Président
02 ...Ahriz Atef.....	Rapporteur
03- ...Zghichi Sara.....	co-encadreur
04- ...Bouhrara Souad.....	Examinat

Remerciements :

Je tiens, tout d'abord, à remercier Mr. AHRIZ Atef ; mon encadreur dévoué pour bien vouloir diriger et encadrer ce travail, et pour toute l'aide nécessaire.

Ensuite, je remercie vivement Mdm. Sara Lachheb . J'adresse mes remerciements aux personnes qui m'ont aidé dans la réalisation de ce mémoire spécialement Faycal .

Je tiens à remercier sincèrement les membres de jury qui me font le grand honneur d'évaluer ce travail. Finalement, Je remercie ainsi toute l'équipe de la bibliothèque qui m'a facilité l'accès à la documentation nécessaire et en l'occurrence.

Résumé :

L'emploi de la végétation peut être un régulateur thermique et peut rénover les conditions de confort de l'être humain, et de ce fait réduire l'impact de l'îlot de chaleur urbain sur les espaces de regroupement.

Les arbres procèdent comme un obstacle au vent, soleil, au son, comme source d'humidité et modificateur de la température de l'air et des surfaces environnantes. L'objectif de cette recherche est alors de déterminer l'effet de l'arbre sur le microclimat, notamment sur les aire de regroupement et plus précisément sur les cours de récréation d'un équipement éducatif, et sur les situations de confort thermique ressenties par les élèves à long terme d'un groupe scolaire à la ville de Tébessa qui présente un climat semi-aride. Dans la première partie, une recherche bibliographique permet de faire le point sur des domaines aussi variés que la micro climatologie urbaine, la végétation des espaces extérieur, l'urbanisme, et le confort thermique en espace extérieur, suivi par une recherche thématique sur l'éducation qui une relation intéressante avec la végétation vis-à-vis le confort des élèves. Ces informations sont utiles lors de la mise en œuvre et de l'interprétation de l'investigation et de la simulation.

La deuxième partie quand elle, comporte les données de l'investigation sur terrain étudié .Plusieurs outils furent employés comme le relevé de la température, de l'humidité, de la vitesse des vents et cela pendant une campagne de mesure lors d'une journée type du mois de Janvier, Mars et Aout pendant les moment de regroupement des élevés à (10.00, 13.00, 16.00 h) en utilisant des questionnaires .couronnée par une simulation dans laquelle le logiciel Envi-Met fut utilisé et plusieurs scénarios furent simulés (la cours sans végétation et trois autre scénarios avec des degrés différent de présence de la végétation), qui nous aiderons à confirmer nos hypothèse énoncées concernant les condition de confort dans le site étudié, pour essayer enfin d'élaborer des recommandations et des solutions qui pourront améliorer encore plus les condition de confort dans la cours de récréation . En se basant sur les résultats de cette étude, on a put confirmer les hypothèses formulées au départ, de plus les bienfaits de la végétation et de l'eau dans le rafraîchissement de l'air particulièrement, et dans le confort thermique en général furent une fois de plus mis en exergues.

Abstract :

The use of vegetation can be a thermal regulator and can renew the conditions of human comfort, thus reducing the impact of the urban heat island on grouping spaces.

Trees act as an obstacle to wind, sun, sound, as a source of humidity and as a modifier of the temperature of the air and surrounding surfaces. The objective of this research is then to determine the effect of the tree on the microclimate, especially on the grouping areas and more precisely on the playgrounds of an educational facility, and on the situations of thermal comfort felt by the long-term pupils of a school group in the city of Tébessa, which has a semi-arid climate. In the first part, a bibliographical research allows us to take stock of fields as varied as urban micro climatology, the vegetation of outdoor spaces, urban planning, and thermal comfort in outdoor spaces, followed by a thematic research on education which has an interesting relationship with vegetation in relation to the comfort of the pupils. This information is useful for the implementation and interpretation of the investigation and simulation.

The second part of the study, when it includes the data from the field investigation, uses several tools such as temperature, humidity and wind speed measurements during a measurement campaign on a typical day in stated hypotheses regarding the comfort conditions in the studied site, in order to finally try to elaborate recommendations and solutions that will be able to further improve the comfort conditions in the playground. Based on the results of this study, we were able to confirm the hypotheses formulated at the outset, and the benefits of vegetation and water in cooling the air in particular, and in thermal comfort in general, were once again put into practice.

ملخص :

بإمكان الغطاء النباتي ان يكون منظما او معدلا حراريا كما بإمكانه ايجاد ظروف الراحة البشرية، مما يقلل من تأثير شبه الجزيرة الحارة الحضرية على المساحات الخارجية و مساحات التجمع العديد من الدراسات أثبتت أن الأشجار يمكن أن تكون حاجزا أمام الرياح والشمس والصوت، كما بإمكانها أن تكون مصدر للرطوبة وتعديل درجة حرارة الهواء والأسطح المحيطة بها. فالهدف من هذا البحث كان جليا منذ البداية ألا وهو تحديد أثر الشجرة على المناخ الجزئي، ولا سيما على مناطق التجمع وساحات المدارس، حيث يتم طرح التساؤل حول حالات الراحة الحرارية التي يشعر بها طلاب مجمع مدرسي في مدينة تبسة التي تعرف بمناخها شبه قاحل.

الجزء الأول تمثل في بحث ببيوغرافي حول الغطاء النباتي يسمح لنا لتقييم مناطق متنوعة مثل المناخ الحضري، الصغيرة والنباتات من المساحات في الهواء الطلق، والتخطيط الحضري، والراحة الحرارية في الفضاء الخارجي تليها بعض البحوث حول موضوع التعليم على الصعيد الدولي و خصوصا في الجزائر كما قمنا بتعريف مختلف تجهيزات المؤسسات التعليمية. هذا الأخير له علاقة مثيرة للاهتمام مع الغطاء النباتي فيما يتعلق راحة الطالب. وهذه المعلومات مفيدة في تنفيذ وتفسير التحقيق والمحاكاة التي سنقوم به .

الجزء الثاني، سيتضمن بيانات من التحقيق الميداني. معتمدين على مجموعة من العوامل مثل درجة الحرارة، الرطوبة وسرعة الرياح وهذا خلال حملة قياس في يوم نموذجي من شهر جانفي ومارس وماي. من خلال تجميع الاستبيانات التي توجت بمحاكاة رقمية التي تم فيها استخدام برنامج محاكاة حيث قمنا بمحاكاة عدة سيناريوهات (الساحة بدون غطاء نباتي وثلاثة سيناريوهات أخرى بدرجات كثافة مختلفة وأنواع مختلفة من النباتات)، والتي سوف تساعدنا على تأكيد فرضياتنا المعلنة مسبقا حول ظروف الراحة في الموقع المدروس.

في النهاية في محاولة لوضع توصيات وحلول يمكن أن تزيد من تحسين ظروف الراحة في الساحات الدراسية و بناء على نتائج هذه الدراسة، تمكنا من تأكيد الفرضيات التي قدمت في البداية، وعلاوة على ذلك قمنا بتوضيح الية عمل الأشجار. وهو ما يجسد فوائد الغطاء النباتي في تبريد الهواء خاصة، وفي الراحة الحرارية بشكل عام .

Sommaire :

Chapitre introductif

I-	Introduction Générale :	1
II-	Hypothèses :	2
III-	Objectifs :	2
IV-	Méthode de recherche :	2
V-	Structure de mémoire :	3

Partie théorique

Chapitre 01 : La végétation et son impact sur le microclimat

I-	Notions générales :	5
1-	Définition de la végétation selon Larousse :	5
2-	Types de végétation extérieure :	5
A-	Le végétal grimpant :	5
B-	La pelouse et les végétaux couvrants :	5
C-	L'arbre extérieure :	5
II-	Rôles et dimensions de la végétation extérieure :	6
1-	Rôle urbanistique :	6
2-	Rôle social :	7
<u>3-</u>	Rôle environnemental :	7
III-	Effet sur les espaces extérieurs :	9
1-	L'évapotranspiration :	9
a-	L'arbre urbaine :	10
b-	arbre d'alignement :	10
c-	arbre en parc ou jardin :	11

2-	Pouvoir réfrigérant de l'arbre extérieure :	11
a-	Les Treillis :	11
b-	Les végétaux couvrants :	12
c-	Les pelouses :	12
IV-	Les formes de présence du végétal dans la ville :	12
1-	La végétalisation des bâtiments :	12
a-	Toiture végétale :	13
b-	Mur végétal :	14
2-	La végétalisation des espaces extérieures :	15
a-	Arbre d'alignement :	15
b-	Espace vert d'accompagnement :	16
c-	Square :	17
d-	Jardin public :	18
e-	Parc extérieure :	19
f-	Parc subextérieure :	19
3-	La végétalisation de la ville :	20
a-	L'éco-quartier :	20
b-	Ceinture verte :	20
c-	Trame verte :	21
	Conclusion :	22

Chapitre 02 : L'architecture des équipements éducatifs

	Introduction :	56
I-	Généralités :	56
1-	Quelques définitions.....	56
II-	Le rôle de l'équipement scolaire dans la société :	59
III-	Aperçu historique sur l'évolution spatiale des équipements éducatifs :	59

1-	Dans le monde :	59
2-	En Algérie :	63
A-	Les espaces d'enseignement avant la colonisation française	
B-	Les espaces d'enseignement pendant l'époque coloniale :	63
C-	La période postcoloniale :	64
IV-	Typologies et modèles d'organisations spatiales des bâtiments éducatifs :	65
V-	Achitecture des équipements éducatifs :	71
5)	L'importance du confort dans le bâtiment éducatif :	84
1-	Le confort visuel :	85
2-	Le confort thermique :	86
3-	Le confort acoustique :	87
	Conclusion :	88

Chapitre 03 : Recherches antérieures et méthodes de travail

	Introduction :	89
I-	Travaux expérimentaux et analytiques :	89
II-	Les méthodes de travail :	94
1-	Les méthodes descriptives	94
2-	Les méthodes physiques	94
III-	Choix d'un modèle de simulation numérique :	97
1-	Critère et motivation du choix du logiciel :	97
2-	Présentation d'ENVI-met :	98
	Conclusion :	100

Chapitre 04 : Présentation du cas d'étude

I-	Introduction :	101
II-	Présentation de la ville de Tébessa :	101
1)	Situation Démographique Et Superficie :	101
2)	Situation Géographique :	101
3)	Climat de Tébessa :	102
A-	Aspect climatologique :	102
B-	Climatologie de la région :	102
III-	Présentation du cas d'étude :	107
1-	Analyse de terrain :	107
A-	Critères de choix de terrain :	107
B-	Accessibilité :	107
C-	Servitudes et contrainte.....	108
D-	Environnement immédiat.....	108
F-	Relief.....	108
2-	Programme du Groupe scolaire : Le groupe se compose de trois équipements nécessaires	109
A-	L'école primaire :	109
B-	Le collège d'enseignement moyen :	111
C-	Le lycée :	112
3-	Les pièces graphiques du projet :	114
1-	Les plans architecturaux :	114
IV-	La création du modèle :	116
1-	L'architecture du modèle.....	117
2-	Données d'entrée (Inputs).....	118
3-	Fichiers de configurations C.F (*.cf)	122
a)	Les sorties (Outputs) :	123
b)	Fichier de sortie en 3D :	123
c)	Fichier des récepteurs :	123

e- 1D fichier model.....124

Chapitre 05 : La simulation numérique

1- Introduction: Erreur ! Signet non défini.

2- Présentation des scenarios : Erreur ! Signet non défini.

1- Scénario 01 : Erreur ! Signet non défini.

a- Cartes microclimatiques : Erreur ! Signet non défini.

b- Analyses et discussion des résultats : Erreur ! Signet non défini.

2- Scénario 02 : Erreur ! Signet non défini.

3- Scénario 03 : Erreur ! Signet non défini.

Chapitre introductif

I- Introduction :

Aujourd'hui le développement de l'architecture nécessite un approfondissement important et une énorme adaptation des connaissances du milieu climatique et physique en vue de les intégrer dans une conception globale du bâtiment . Chaque élément ou matériau et composant participe dans le sens d'une bonne ou mauvaise performance vis-à-vis le confort de l'homme. Parmi ces composants la végétation a retenu notre attention, car elle fait partie très importante et structurante de l'environnement . Chez l'homme la végétation s'adresse a un besoin biologique c'est-à-dire très important pour lui, ce besoin est appelé par LAM en 1977 « le besoin de proximité d'éléments vivants. », donc un homme évoluant dans un espace lié à la nature serait plus heureux, en meilleure santé et plus performant. Tout d'abord, elle peut améliorer la biodiversité et assure le confort visuel, acoustique et thermique et olfactif grâce au micro climat créé par végétation dans un bâtiment. En effet le micro climat créé dans les espaces de récréation par l'écran végétal représente une stratégie bioclimatique efficace dont les bénéfiques environnementaux sont nombreux .

L'arbre a divers impacts sur l'environnement urbain, au delà du rôle esthétique et de la sensation plaisante de proximité avec la nature que les arbres et la végétation fournissent, elle peut stabiliser le sol, permettre l'ombrage de grande surface des paroi horizontal et vertical, fournir un habitat à la faune, faire obstacle au bruit et améliorer la qualité de l'air. Alors que dans les villes algériennes, la contribution de la végétation à l'amélioration du cadre de vie était extrêmement sous-estimé, en la laissant une faible place dans les pratiques architecturales et plus précisément dans les espaces de récréation des équipements éducatifs , leur présence reste d'une façon ponctuelle et ne couvrent guère les tissus urbains de nos villes car depuis l'indépendance toute l'attention de la politique urbaine et l'aménagement de territoire en Algérie était tournée vers la construction des logements et des équipements, en se concentrant seulement sur l'aspect fonctionnel et le plan quantitatif, et par conséquent négliger l'aspect paysager et la qualité du cadre de vie, y compris la végétation qu'en consiste un élément indispensable .

Dans cette démarche, le végétal devrait prendre sa place en tant qu'un élément structurant dans les bâtiments éducatifs, ainsi être rythmée dans le paysage de la ville. En répondant aux enjeux de natures diverses, paysagère, sociaux, environnemental. Tout est exprimée dans le déficit enregistré et la rareté des espaces végétalisés dans la ville de Tébessa, et si elle existe, elle se présente d'une manière ponctuelle et ne reprend pas la totalité du tissu urbain, et par conséquent,

ne pas répondre aux différentes exigences en cette matière pour l'environnement et les habitants de la ville .

Dans cette perspective, la place de la végétation dans les espaces extérieur et plus précisément dans les aires de récréation des écoles nos villes doit être repensée au profit d'un cadre de vie et d'enseignement de qualité sur le plan paysagers et urbain. L'objectif consiste toujours à esquisser des réponses à des questions simples à formuler :

- Est ce que la végétation peut être une solution efficace pour créer un microclimat favorable dans les cours de récréation des équipements éducatif...?
- Quels sont ses paramètres de fonctionnement de l'arbre ... ?

II- Hypothèses :

Effectivement oui la végétation peut être une solution efficace dans le but de créer un microclimat favorable dans les cours de récréation des équipements éducatifs car la structure verte peut répondre aux enjeux de natures diverses, paysagère, sociaux, environnemental, ces derniers représentent un besoin biologique pour les élèves.

La végétation sous toutes ses formes (arbres, arbustes et espèces herbacées, arbres isolés, en bosquets ou en boisés) constitue un élément des écosystèmes urbains et naturels : elle démontre une préoccupation des autorités et du citoyen d'améliorer l'environnement quotidien et de s'entourer d'éléments naturels. La présence de la végétation en milieu urbain nous assure un contact avec les variables naturelles de l'écosystème, et en particulier, avec un élément vivant autre qu'humain.

III- Objectifs :

L'objectif de cette recherche est de répondre aux hypothèses énoncées, dans le but de concevoir un projet architectural d'un groupe scolaire lié à la végétation où on va créer un microclimat qui assure tout types de confort pour ses occupants.

IV-Méthode de recherche :

La recherche s'organise en **deux parties** qui se complètent. La première partie introduit le domaine de recherche auquel nous nous intéressons, c'est une synthèse des connaissances issues d'une analyse bibliographique, se composant de trois chapitres traitant chacun d'un thème bien précis. Ces thèmes s'articulent principalement autour de l'éducation, la végétation et ses

effets sur le microclimat , le confort dans les espaces extérieurs, l'impact de la végétation sur le confort thermique en milieu urbain.

La deuxième consiste à une simulation, basée sur un outil informatique, permettant une quantification précise des impacts microclimatiques liés aux paramètres de la végétation et de sur le confort thermique extérieur, mais aussi de simuler plusieurs scénarios, avec différentes caractéristiques de la place. On essayera en fin de conclure notre travail et de tenter de suggérer quelques recommandations en se référant aux résultats obtenus ultérieurement.

V- Structure de mémoire :

Après avoir fixé notre sujet, ainsi la problématique de notre recherche sur la base d'un constat et analyse primaire, on a défini les étapes à suivre.

Notre mémoire se compose d'une partie introductive et plus de trois chapitres, les ces chapitres englobent la partie théorique et un autre constitue la partie pratique c'est-à-dire notre cas d'étude qui est le groupe scolaire.

Chapitre 1 : La végétation et son impacts sur le micro climat

Montrer la nécessité de présence la végétation ,en expliquant ses effets sur le microclimat .

Chapitre 2 : l'architecture des équipements éducatifs

Le deuxième chapitre vise à donner des notions générales sur la thématique de l'éducation et d'identifier l'équipements étudié (groupe scolaire).

Chapitre 3 : Recherches antérieures et méthodes de travail

Une comparaison basée sur les recherche antérieur entre les différents logiciels de simulation qui supporte la végétation .

Chapitre 04 : Présentation du cas d'étude

Dans cette partie on va présenter notre cas d'étude et appliquer une analyse architecturale sur le terrain étudié .ensuite,on va créer un modèle d'échantillon et le préparer à une application numérique à l'aide d'un logiciel de simulation .

Chapitre 05 : La simulation numérique

Le dernier chapitre de cette étude va montrer les scénarios de simulations appliqués sur le cas d'étude où on va retenir des recommandations concernant l'intérêt de notre recherche

Première partie :

La partie théorique

CHAPITRE 01 :

la végétation et ces impacts sur le
microclimat

Introduction :

La végétation sous toutes ses formes (arbres, arbustes et espèces herbacées, arbres isolés, en bosquets ou en boisés) constitue un élément des écosystèmes extérieures et naturels. Nous réalisons combien sont sous-estimés et méconnus les effets de la présence de la végétation en ville. La réalisation d'aménagement paysagers dans les nombreux milieux extérieurs à travers le monde, traduit plus qu'un engouement pour le jardinage et l'horticulture : elle démontre une préoccupation des autorités et du citoyen d'améliorer l'environnement quotidien et de s'entourer d'éléments naturels.

La présence de la végétation en milieu extérieure nous assure un contact avec les variables naturelles de l'écosystème, et en particulier, avec un élément vivant autre qu'humain. Les zones extérieures "vertes", qu'elles soient publiques comme les parcs ou privées comme les plantations autour de bâtiments, peuvent avoir un effet marqué sur beaucoup d'aspects de la qualité de l'environnement extérieur et la richesse de vie dans une ville. Les conditions de l'environnement dans les espaces publics extérieurs peuvent avoir un impact considérable sur les conditions de confort éprouvées par les personnes qui les utilisent, et par conséquent sur leur utilisation par le public. Le type et le détail des plantes autour d'un bâtiment ou dans un espace public peuvent affecter son exposition au soleil et au vent, ses conditions de confort et l'usage d'énergie pour chauffer en hiver et principalement pour refroidir en été. En plus de son effet sur le climat extérieure globale et le microclimat dans les espaces publics et autour des bâtiments, la végétation extérieure affecte la pollution de l'air, le niveau sonore des sources du bruit, favorise l'activité sociale, possède une apparence esthétique....etc. Nous allons dans ce chapitre nous intéresser à quelques aspects concernant la végétation en générale et celle en milieu extérieure en particulier, donc à l'échelle du microclimat. Ainsi, nous allons analyser, de manière précise, comment les végétaux ont la possibilité de modifier leur environnement thermique par leurs actions sur les rayonnements de courte et de grande longueur d'onde, par leur influence sur les écoulements aérauliques et par le phénomène **d'évapotranspiration**.

I- Notions générales :

1- Définition de la végétation selon Larousse :

La végétation : est l'ensemble des plantes qui poussent dans un lieu donné selon leur nature et leur forme .Elle possède des caractéristiques biologiques précises qui font appel à des connaissances en biologie végétale et en écologie. De la notion de végétation découle les notions connexes de tapis végétal, de paysage végétal, des types de végétation et de formation végétale

2- Types de végétation extérieure :

Lorsqu'on parle du végétal extérieure ,c'est faire appel à des compréhensions provenant de différentes disciplines : climatologie, hydrologie, pédologie agronomie et physiologie végétale C'est dire la variété des préoccupations et les difficultés pour adapter ces compréhensions aux besoins spécifiques du champs des espaces extérieurs par le biais du microclimat Où le végétal est appelé à jouer un rôle important, l'arbre peut se présenter essentiellement sous (03) formes qui, correspondent aussi à (03) échelles spatiales :

L'arbre extérieure.

Le végétal rampant.

La pelouse et les végétaux couvrants.

A- Le végétal grimpant :

Il est plus fréquemment associé à l'architecture, et proportionné à l'échelle du bâtiment .Il peut être aussi utilisé dans les espaces extérieurs et constituer par exemple : un ombrage (treillis sur rue) sont effet microclimatique s'exerce sur un espace plus réduit en général à l'échelle du piéton.

B- La pelouse et les végétaux couvrants : Ont le plus souvent, une fonction décorative, en remplaçant un revêtement minéral Leurs effets microclimatiques se limitent au contrôle des conditions de surface (il en va de même de végétaux grimpants couvrent des surfaces entières de façades des bâtiments)

C- L'arbre extérieure : L'arbre extérieure peut à son tour être subdivisé en deux (02) catégories :

- L'arbre en parc ou jardin.
- L'arbre d'alignement.

Dans les (02) cas, l'arbre est un élément vivant, source quantifiable de confort en région méditerranéenne, le choix des essences doit être fait avec soin une bonne connaissance de son usage enrichit la panoplie d'outils d'aide à la décision pour le contrôle des ambiances micro climatiques dans les projets : l'arbre extérieure peut atteindre de grandes tailles (plus de 25 m de haut) -arboriculture extérieure-. Il participe beaucoup au paysage extérieure.

II- Rôles et dimensions de la végétation extérieure :

En remplissant des rôles multiples, les espaces verts peuvent être un outil de requalification des quartiers, et un acteur de la dynamique qui contribue à la performance énergétique extérieure, à réduire les risques d'inondations, à l'économie de l'entretien. Trois grands rôles peuvent lui être attribués : urbanistique, social et environnemental. Ces trois grands rôles sont liés et leurs effets interagissent.

1- Rôle urbanistique : « Les espaces verts composent un maillage interstitiel de verdure (espace -libre) et ils de définissent par opposition aux espaces construits (espace plein) » (CERTU, 2001) La Notion d'espace vert est un concept opérationnel d'urbanisme (Félix, 2009)

a- Absorption des eaux de pluie : Les espaces végétalisés permettent de préserver des surfaces d'absorption en ville. Ce rôle peut être à la fois considéré comme écologique (alimentation en eaux des plantes et du sol) et urbanistique (désengorgement des réseaux d'assainissement).

b- Esthétique : Le premier rôle des espaces verts est d'embellir la ville. Les végétaux introduisent des dimensions d'une grande sensibilité : jeux de lumières, couleurs (les verts dans toutes ses nuances, le bleu et le pourpre, mais aussi tout le nuancier des fleurissements), textures. Le rôle esthétique est important pour la politique d'attractivité touristique des villes concernées.

c- Renforcement de la lisibilité : Les espaces verts permettent de limiter les espaces. Par la diversité de paysage qu'ils créent, ils donnent une meilleure identité aux sites. Les plantations d'alignement renforcent la lisibilité des axes principaux, diminuent l'impact visuel d'un bâti trop hétérogène (comme sur l'avenue de Grammont à Tours), diversifient, en variant les espèces, les paysages créés. Ce sont donc des éléments essentiels de la composition extérieure.

d- Protection contre le bruit : Les plantations suffisamment épaisses permettent d'atténuer les nuisances sonores. Elles permettent alors de réduire un certain nombre de

troubles psychologiques et physiologiques engendrés par le bruit. Une ceinture d'arbre de 30 mètres d'épaisseur diminue le bruit de 6 à 8 décibels. Cette atténuation est importante, si on retient qu'une atténuation de 12 décibels correspond à une diminution de la sensation sonore de l'ordre de 50%. (Association de l'Arbre Québec Métropolitain)
« Le végétal n'est cependant pas qu'un régulateur dans la ville, c'est aussi un médiateur social, c'est-à-dire ce par quoi l'identité et la qualité de la ville adviennent, ce par quoi l'agglomération devient citée appropriée ou appropriable par les habitants » (Donadieu, 1996)

2- Rôle social : « Pour le bonheur, la sauvegarde du monde, il est plus essentiel de le végétaliser que de le minéraliser. Planter est plus urgent que bâtir. L'homme a un besoin plus vital d'arbres, de plantes et d'herbe que de béton, de pierres et de bitumes »

a) Détente : Les espaces verts sont une nécessité vitale pour les habitants des villes soumis à de nombreux stress : bruit continu, pollution atmosphérique, manque de repos... La détérioration accélérée de l'environnement extérieure engendre des troubles nerveux, des déséquilibres psychologiques. Le maintien de cet équilibre peut être favorisé par l'aspect naturel, par la souplesse des lignes, par la création d'une ambiance agréable et par des effets calmants, par la sensation d'espace et de lumière. « La réintroduction de nature dans la ville n'est pas seulement un problème sanitaire. Les espaces verts répondent à un besoin très profond, en quelque sorte la fixation symbolique de la réaction de liberté et d'agressivité que la concentration des masses humaines dans un espace totalement artificiel ne peut satisfaire » (Donadieu, 1996).

b)-Culture : les espaces verts ont une histoire, des courants qui reflètent l'esprit de leur époque, comme le jardin à la française au temps du classicisme et le jardin à l'anglaise à l'époque romantique. Composer avec la nature en ville a longtemps été une pratique culturelle. (CERTU, 2001).

c)-Récréatif et sportif : des aires de jeux, des terrains de sport, des parcours de santé sont installés dans les parcs et les jardins publics.

d)-Pédagogique : les espaces verts peuvent être le support de découverte du monde végétal et animal : l'éveil des sens, le goût, l'odorat, le toucher peuvent aussi être favorisés.

C'est le rôle par exemple des jardins botaniques.

Rôle environnemental : « Cette fonction doit s'entendre à la fois dans le sens de la protection du sol par l'usage valorisant qui est donné aux espaces verts contre le développement anarchique des constructions et pour la protection de l'équilibre de l'écosystème extérieure » (De Vilmorin, 1976.)

Les espaces verts ont un rôle primordial d'épurateur de l'atmosphère :

a)-Epuraction chimique : (Larcher/Dubois, 1995) la concentration de CO₂ ne devrait pas dépasser 1/1000. Or elle est continuellement enrichie par la respiration, les foyers domestiques et industriels, et surtout par la circulation (qui produit par ailleurs d'autres gaz toxiques). Grâce à la photosynthèse, les végétaux fixent le CO₂, produisent des quantités non négligeables d'O₂ et contribuent à l'épuration de l'atmosphère.

Cependant, dans certaines zones très polluées, les éléments toxiques affaiblissent les organismes vivants.

b)-Epuraction bactériologique : De nombreux microbes et bactéries sont présentes dans l'air. L'ozone émis lors de l'assimilation chlorophyllienne a la propriété d'en détruire une bonne quantité. (De Vilmorin, 1976, p. 161)

c)-Fixation des poussières, produits goudronneux et huileux : ces produits très présents dans l'air extérieure se déposent sur les feuillages et sont en partie lavés quand il pleut. Pour que cette action épuratrice soit efficace, il faut cependant que les végétaux ne soient pas surchargés, ce qui suppose un minimum d'espaces verts. « Le filtrage se produit surtout à une échelle micro climatique (dans l'îlot de chaleur extérieure), en particulier en soirée dans les milieux les plus chauds (zones fortement minéralisés) et les plus fraîches (espaces verts). Il est donc souhaitable de compartimenter l'agglomération extérieure dense par des masses végétales permettant entre autre de piéger la pollution (Certu, 2002). L'accroissement des espaces verts fait donc partie intégrante de la lutte contre la pollution.

d)-Thermorégulateur : L'atmosphère est favorable à la vie si elle contient une certaine teneur en vapeur d'eau. Les feuillages en émettent des quantités considérables. Cette émission s'accompagne d'absorption de chaleur, ce qui permet une baisse de température appréciable en période chaude. La baisse des températures entraîne des mouvements descendants qui compensent les mouvements ascendants de l'air dans les zones bâties. Ceci permet d'éviter, en l'absence de vent, que des masses d'air pollué se forment au dessus des villes.

e)-Ombre : Les espaces verts jouent le rôle d'abris face à la chaleur notamment dans les pays chauds Par contre la ville est elle-même un frein à la végétalisation pourtant bénéfique. Les pollutions de l'air, du sol et de l'eau nuisent à la bonne santé des espaces verts. Les poussières, les émissions sulfuriques (combustion) et nitriques (véhicules à moteur) et les autres émanations nocives extérieures participent à la dégradation générale du milieu extérieure. Il est donc évident que les arbres en ville ne se trouvent pas dans un état de croissance normale et correspondant à leurs exigences naturelles.

III- Effet sur les espaces extérieures :

1- L'évapotranspiration :

L'évapotranspiration (ET) est le phénomène combiné de perte en eau par évaporation directe et par transpiration. L'évaporation est le processus par lequel l'eau liquide des surfaces d'eau, des trottoirs, du sol et de la végétation humide est convertie en vapeur d'eau (vaporisation) et enlevée à la surface. Quant à la transpiration, elle comprend la vaporisation de l'eau liquide contenue dans les tissus végétaux et l'extraction de vapeur vers l'atmosphère. Ressource indispensable à la croissance des plantes, l'eau est un élément constitutif majeur de la matière végétale ainsi qu'une source d'hydrogène et d'oxygène pour la plante. L'eau, ainsi que quelques aliments, est prise par les racines et transportée par la plante ; la vaporisation se produit dans la feuille, à savoir dans les espaces intercellulaires, et l'échange de vapeur avec l'atmosphère est commandé par l'ouverture du stomate. Presque toute l'eau prise est perdue par la transpiration et seulement une fraction dérisoire est employée au sein de la plante. Les deux processus, d'évaporation et de transpiration se produisent simultanément et il n'est pas facile de distinguer l'un de l'autre, de sorte qu'ils sont réunis sous le terme général d'évapotranspiration.

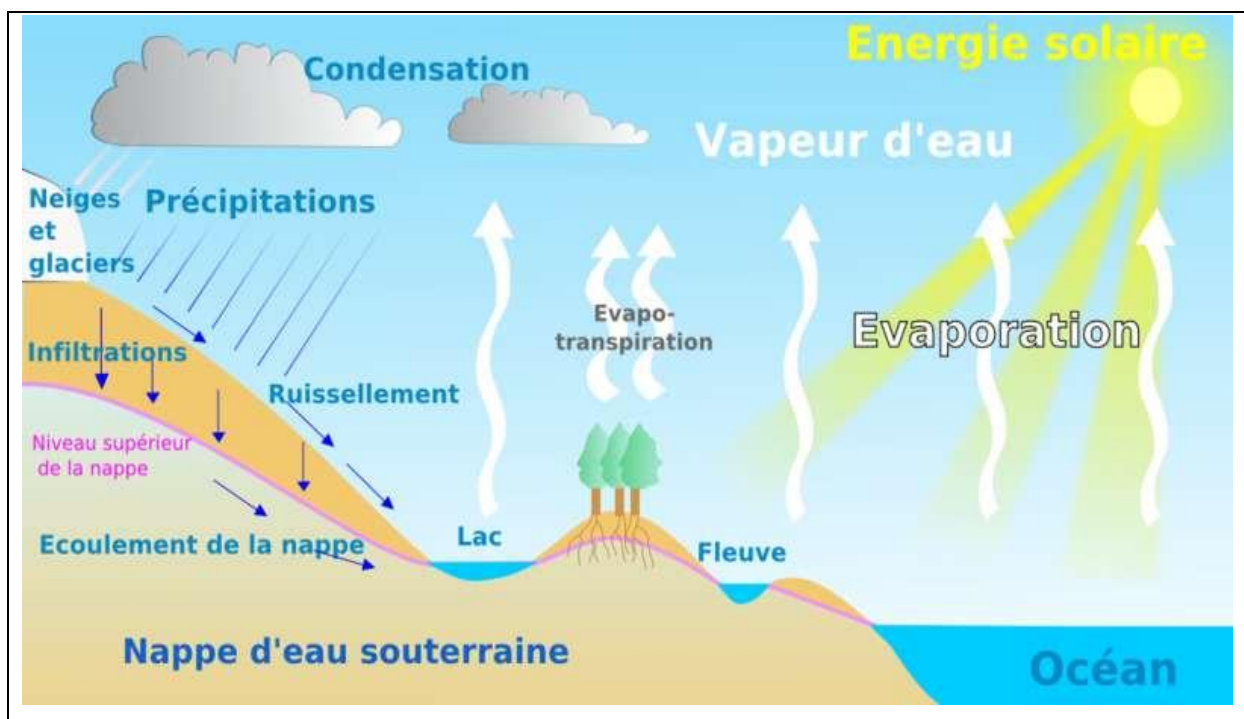


Figure 1 : Schéma expliquant le processus évapo-transpiration, Source (futura-sciences.com 2020)

L'évapotranspiration correspond pour les plantes et pour leur environnement, -en particulier le sol- à une perte de vapeur d'eau vers l'atmosphère qu'il faut compenser par des apports d'eau. Suite à des travaux entrepris sur l'estimation des besoins en eau des cultures, on peut distinguer différentes notions dans l'évapotranspiration :

- L'évaporation potentielle (EP)
- L'évaporation potentielle théorique (EP*)
- L'évapotranspiration réelle (ETR)
- L'évapotranspiration réelle maximale (ETRm)
- L'évapotranspiration potentielle climatique (ETPc)

a- L'arbre urbaine :

La situation de l'arbre extérieure est particulière si on le compare aux arbres pris dans une masse forestière les principales différences sont :

- *- Le rayonnement solaire net est souvent plus grand, selon les expositions (Effet de dièdre et à cause des albédos des surfaces environnantes).
- *- La température de l'air est en général plus élevée de l'îlot de chaleur extérieure et les effets de dièdre.
- *- L'eau est en général moins disponible dans le sous-sol compte tenu des revêtements étanches et les arrosages qui peuvent être soit insuffisants soit inexistantes.

Il faut distinguer deux types d'arbre extérieure :

b- arbre d'alignement :

Lorsqu'il est jeune, l'arbre d'alignement est en situation isolé et donc soumis à des conditions défavorables : flux radiatifs solaires et thermiques accrus (effets de dièdre), air plus chaud par convection naturelle si la surface est minérale et absorbante, ce qui est souvent le cas de la ville.

Tous ces facteurs augmentent le stress thermique sur l'arbre et diminuent l'évapotranspiration par fermeture des stomates ce qui augmente donc encore plus la température de son feuillage.

Lorsque l'arbre d'alignement est adulte et qu'il forme avec ses voisins une voûte végétal continue (canopée) les effets du stress thermique diminuent et l'évapotranspiration peut se produire normalement.

c- arbre en parc ou jardin :

Cet arbre se trouve dans une situation favorable, les arbres sont souvent implantés sur des pelouses à distance de façades il est probable aussi que le bilan hydrique du jardin, s'il est arrosé autorise des débits d'évapotranspiration qui maintiennent les températures du feuillage au dessous de la température d'air pendant la journée ; la température du feuillage est un indicateur de l'évapotranspiration : lorsque la différence entre température de feuillage et température d'air est faible.

2- Pouvoir réfrigérant de l'arbre extérieure :

Plusieurs indications ont été données par la littérature sur le sujet.

-Un square de 100 100m planté d'arbres d'alignement peut perdre 50.000 litres /jour.

*-La transpiration d'une plante de grande dimension produit un effet de refroidissement équivalent à celui de cinq petits systèmes réfrigérants fonctionnant pendant 20 heures

*-Le pouvoir réfrigérant de la transpiration des plantes est basé sur le fait que l'évaporation d'un Kg d'eau (soit 1 litre) nécessite une puissance de 680 w et consomme en une heure une énergie égale à 2450Kj. S'il n'y pas de vent cette énergie est prélevée dans l'environnement immédiat des feuilles, ce qui a pour effet d'abaisser la température du feuillage et de l'air qui l'environne. avec arbres d'alignement et deux rues sans arbres. (Source : Escourrou, 1991).

a- Les Treillis :

Les treillis sont associés aux végétaux grimpants, elles sont employées de préférence comme prolongement privatif de l'habitation ou encore mises en œuvre sur les espaces extérieures dans des

parcs, dans la rue ou sur une place. Plusieurs études qui ont été faites confirment qu'il n'y a pas d'effet de treille sur la température d'air, ni sur la température radiante car L'ombre n'y est pas total ; mais il y a néanmoins un effet feuillage comme le montre le tableau suivant :

L'effet microclimatique d'un végétal grimpant accroché à une structure horizontale se traduit donc principalement par la réduction du champ radiatif solaire due à l'ombrage d'après les mesures faites par J.M. Ochoa et al. 1

b- Les végétaux couvrants :

Les façades de bâtiments peuvent être entièrement recouvertes par les végétaux grimpants, outre les effets esthétiques, cette forme de végétal offre des effets microclimatiques l'effet d'un végétal est celui d'un réducteur de l'échauffement de surface de parois soumis à l'ensoleillement. Cela concerne le bâtiment par la réduction des flux de chaleur absorbés par l'enveloppe et aussi bien le microclimat de la rue par réduction des températures de surfaces des parois qui la limitent.

c- Les pelouses :

Les pelouses présentent un intérêt certain, par la diminution des températures de surface du sol en favorisant l'évapotranspiration des arbres extérieures. L'effet thermique de la pelouse est lisible surtout lorsque celle-ci est exposé au rayonnement solaire, elle s'échauffe moins comparée à une surface minérale, l'effet d'inertie est inexistant sur la pelouse. Le schéma montre les effets suivants :

- à l'ombre stabilisé, la pelouse et l'allée minérale ont presque la même température à 1C° près, la pelouse reste un peu plus fraîche à cause de son humidité due à l'arrosage et à la rosée matinale.

- au soleil stabilisé l'allée s'échauffe beaucoup plus que la pelouse, 11C° de plus.

IV- Les formes de présence du végétal dans la ville :

1- La végétalisation des bâtiments :

L'adaptation de la ville aux changements climatique, ainsi que la réintroduction de la nature en ville invitent à un processus de végétalisation allant de l'échelle du bâtiment, tout en intégrant la matière végétale dans sa construction, dont l'enveloppe constitue la plus grande réserve de surface disponible dans le tissu extérieure. Par ailleurs, l'architecture végétale permet de dégager une surface assez grande en façade et sur les toits.

La végétalisation des bâtiments est bénéfique en tout point de vue : outre ses avantages indéniables en milieu extérieure, elle a un impact positif sur la durabilité du bâtiment, améliore

le bilan technique des constructions, atténue la réverbération acoustique et engendre une optimisation non négligeable de la gestion des eaux pluviales. Dans nos villes « où prédominent le bitume, avec les rues et les parkings, le béton utilisé trop largement dans la construction, la diminution progressive des espaces végétaux au fur et à mesure de l'extension extérieure, on constate un écart de température de 1,5 à 2°C par rapport à la campagne voisine, auquel s'ajoute, au fil des années, l'augmentation de la température due au réchauffement climatique. La végétalisation des bâtiments joue un rôle dans la lutte contre le réchauffement climatique par des économies sensibles d'énergie et présente un intérêt indéniable et doit être encouragée, couplée à la création nécessaire d'autres espaces verts, elle permet également de donner à nos villes une image esthétique dont elles ont besoin. ».

a- Toiture végétale :

La toiture végétale, surnommée également "éco-toit" ou "toit vert", elle porte aussi le nom (PCVH) « paroi complexe végétalisée horizontale », ce recouvrement des toits par des végétations n'est pas nouveau, sa construction se fait de manière traditionnelle dans plusieurs pays scandinaves et européens, et ce principe utilisé depuis des millénaires dans la zone paléarctique.

L'aménagement d'un «éco-toit» se révélait intéressant pour des objectifs esthétiques ou de durabilité, comme dans la perspective de restauration ou protection de la biodiversité et de l'environnement en milieu extérieure, et améliorent le confort thermique du bâtiment, humidifient l'air ambiant et offrent : une protection contre les chocs thermiques, une inertie thermique,... L'intégration d'un toit vert dans le bâtiment sera d'autant mieux réussie qu'elle sera envisagée dès la conception du bâtiment (la construction des bâtiments durables ou de type HQE), mais elle est toutefois réalisable sur des constructions déjà existantes.yuy



Figure 2 : Toiture végétalisée d'une Jardin d'enfant à WUXI en CHINE (Archidaily/2019)

La végétalisation des toits est une manière de créer une relation harmonieuse entre les bâtiments avec leur environnement immédiat, ainsi la délimitation entre ville et nature devient moins lisible. En particulier, dans les milieux extérieurs denses, les vues sur les toits terrasses végétalisés sont mieux appréciées par rapport aux vues donnant sur les toits minéralisés. Mais depuis les années 1970, face aux nouveaux enjeux liés à l'urbanisation, et à travers de nombreuses expériences, certains pays tels que l'Allemagne, les Pays-Bas, la Suisse et les Pays Scandinaves, se sont penchés sur les intérêts supplémentaires d'un point de vue technique et scientifique de la toiture végétalisée. En Allemagne, les terrasses végétalisées représentent 15% des toitures nouvellement construites après les années 90 ; selon (Med Bouattou, Fuchs Alain) la réussite de cette solution revient à « la prise en compte rapide par les pouvoirs publics et l'intégration de « l'esprit environnemental » dans la société allemande. ».

b- Mur végétal :

La végétalisation verticale s'inscrit pleinement dans la démarche de développement durable des villes, augmenter les surfaces vertes en revêtant par végétaux les façades des bâtiments en tout ou en partie comme les terrasses végétalisées peuvent contribuer à la quinzième cible HQE (Haute Qualité Environnementale),²⁹ Ils peuvent servir de refuge ou de garde-manger pour les oiseaux, les invertébrés ou les mammifères, mais ils peuvent également jouer un rôle en matière de microclimat, d'épuration des eaux, de régulation des crues extérieures et de la qualité de l'air. Le mur végétal porte aussi le nom de PCVV pour « paroi complexe végétalisée verticale ».



Figure 3: Le mur végétal de la rue d'Aboukir à Paris (viveparis.fr/2019).

Les concepts de mur vivant ou mur végétalisé décrivent des écosystèmes verticaux conçus comme une œuvre d'art ou un noyau écologique servant à recouvrir les façades, elle constitue ainsi une approche complémentaire et innovante de penser la verdure en ville. Elle peut se faire soit à partir du sol directement, les racines de plantes grimpantes y puisant leur nourriture et l'eau, soit en intégrant la flore au bâtiment, via des balconnières, des jardinières, ou des systèmes plus complexes de murs végétaux tels que ceux de Patrick Blanc.

Le mur végétal imaginé par Patrick BLANC au milieu des années 90 est basé sur une nouvelle technique de culture qui permet de végétaliser n'importe quelle surface verticale en s'affranchissant des problèmes de poids du substrat. La technique a été mise au point à l'issue de nombreuses années d'observation dans les milieux naturels 'des plantes prospérant sur les rochers des montagnes ou encore sur les arbres en forêt tropicale'. Elle repose sur une constatation scientifique : pour prospérer, une plante n'a pas besoin de terre mais d'une surface stable où les racines peuvent se fixer et d'une réserve d'eau et de sels minéraux permettant à la plante sous l'action conjuguée du gaz carbonique ambiant de se nourrir par photosynthèse. Dans la pratique, l'installation du mur végétal repose sur la mise en place d'un support dissocié du bâti pour éviter les dégradations. Ce support est fixé sur un cadre métallique et se compose d'une feuille de PVC expansé et d'une nappe d'irrigation permettant aux racines des plantes de se fixer mais aussi de se nourrir. Une légère couche de substrat enrichi est implantée sur la surface verticale ainsi aménagée. Les plantes sont choisies en fonction des conditions climatiques locales et des éclairages disponibles. Ensuite elles sont installées à la verticale et colonisent l'espace offert. La mise en œuvre du mur végétal est possible aussi bien en extérieur qu'en intérieur avec un système d'arrosage et de fertilisation automatisé.

Depuis sa mise au point, le mur végétal par Patrick BLANC a fait l'objet de nombreuses réalisations à travers le monde avec des architectes de renommée internationale comme Jean Nouvel, Andrée Putman, Edouard François...

2- La végétalisation des espaces extérieures :

a- Arbre d'alignement :

L'arbre est une composante du paysage extérieure depuis plusieurs siècles, Si le premier voit le jour en XVIème, ce n'est qu'à partir du dernier tiers du XVIIIème siècle qu'ils se répandent dans la ville. Ces plantations « faites dans les villes et en bordure des principales voies de communication, rues, avenues, boulevards, quais, sur les places, promenades et mails ». Elles sont considérées en tant que des composantes d'esthétiques indissociables de la qualité

extérieure; les bandes boisées atténuent les bruits, épurent l'air,...en participant à la composition extérieure par leur forme, leur volume, leur couleur et leur silhouette.

Dans l'écosystème extérieure, l'arbre est le principal élément biotique durable, et son effet est très grandement important dans les sites extérieurs et préextérieurs et peut faire beaucoup pour rendre plus agréables les villes. Il représente en volume et en biomasse la partie la mieux perceptible des espaces verts quant à leurs fonctions de production et d'équilibre écologique (oxygénation, épuration de l'air, régulation du climat ...).

Selon l'ingénieur Alphand : « Elles sont indispensables pour renouveler l'air vicié d'une grande cité, en absorbant l'acide carbonique, qu'elles décomposent et transforment en oxygène, elles procurent l'ombre, si nécessaire au nombreux public qui circule sur les voies magistrales de Paris. Enfin, elles contribuent grandement à la décoration de la cité ».



Figure 4: exemple des arbres d'alignement à paris (Pinterest.com/ 2019)

b- Espace vert d'accompagnement :

L'espace vert d'accompagnement désigne les plantations qui accompagnent les établissements et les équipements publics, les habitations, et même les voiries, les cheminements, ouverts ou fermés à la fréquentation par les usagers, de statut public ou privé. À titre d'exemple, figurent : les espaces végétalisés des établissements hospitaliers, les plantations en accompagnement de voirie, des terrains de sport, les établissements administratifs ou universitaires, etc. Ces plantations renforcent le développement d'infrastructures verte extérieure, tant sur le plan

quantitatif que sur le plan qualitatif. Par annexer à l'ensemble des constructions et équipements publics des espaces plantés. D'une part elles participent au verdissement, l'embellissement du cadre bâti, et d'autre part à la valorisation de morphologie extérieure, ainsi l'aspect paysager du milieu extérieur.



Figure 5: Espace vert d'accompagnement d'immeuble (privé) à Lille en France(pinterest.com/2019)

c- Square :

Le square est un espace public de proximité de dimensions réduites, désignant les places aménagées en agglomérations extérieures situées au cœur d'un îlot extérieur ou d'une place, généralement clôturé par une grille, un grillage ou une haie basse, ces dernières commencent à disparaître.



Figure 6: Square port el Said à Alger , source(elwatan.com/2019)

Le square, « Il s'agit d'un mot anglais qui veut dire carré, de l'ancien français "esquarre" (équerre), et signifie petit jardin public, généralement entouré d'une grille et aménagé au milieu

d'une place ».34 Il sert comme un décor extérieure et plus particulièrement comme des lieux de promenade, de détente et loisir pour les habitants du quartier.

Selon P. Merlin et F. Choay : « Le square, dans son acception française, est un jardin public formé au centre d'une place bordée de façades, contourné par les circulations. Il ne doit pas être confondu avec le square londonien, espace libre au centre d'un îlot quadrangulaire, réservé à l'usage des riverains, à l'origine espace minéral servant de cour qui fut ensuite souvent planté ».

d- Jardin public :

Le jardin est un espace extérieure végétalisé de proximité à l'échelon d'un quartier ou d'un groupe d'immeubles d'habitation, considéré comme un équipement à part entière ouvert au public, de dimensions de quelques hectares à la dizaine d'hectares ou plus.

Selon Merlin. P et Choay. F le jardin public est un : «espace vert extérieure, enclos, à dominante végétale, protégé des circulations générales, libre d'accès, conçu comme un équipement public et géré comme tel ».



Figure 7: jardin public à Bordeaux en France, source (Pinterest.com/2019)

Le jardin a toujours été un lieu de nature privilégié de la réflexion et des rencontres, en offrant aux habitants un complément à leur habitation et répond aux besoins les plus souvent exprimés en termes de repos, de détente et de jeux pour enfants.

e- Parc extérieure :

Le parc extérieure, souvent considéré comme un poumon vert au cœur de la ville, ouvert à une large population relativement important en nombre, maintenu souvent dans son état naturel de caractère sauvage ou semi-naturel et paysager, en sorte que l'intervention de l'homme se limité aux cheminements, aménagements,... Destinés à la promenade et l'agrément du public, des lieux d'échange et supports d'activités sportives, éducatives et de détente, et comportent donc en général des éléments tels que des aires de jeux, des équipements sportifs divers, des bancs ou encore des tables de pique-nique. Par leur localisation à l'intérieur des villes deviennent des lieux de refuge pour les populations en recherche de nature, qui trouvent dans les espaces verts et les parcs extérieurs en particulier des caractéristiques répondant à leurs envies et à leurs besoins : une nature de proximité de leur vie quotidienne, un large éventail d'activités possibles, des équipements et aménagements importants et de qualité.

La distinction entre un parc public et un jardin public dans un contexte extérieure n'est pas toujours claire. Cependant, il peut être considéré que les deux espaces se distinguent du point de vue de leur taille, le parc est souvent considéré comme un «jardin à grand échelle », ainsi que la distinction entre ces deux types d'espaces est liée à leur manière d'aménagement.



Figure 8: Parc André Citroën à Paris, source(pinterest.com/2019)

f- Parc subextérieure :

Le parc subextérieure est un espace naturel situé en périphérie des villes, il se caractérise par son importante superficie et la vaste gamme de situations et d'activités de plein air qu'il offre. Il est souvent doté par des équipements, restaurants, et même service hôtelier.



Figure 9: Suburban park in Richmond Hill, Canada, source(alamy.com/2019)

3- La végétalisation de la ville :

a- L'éco-quartier :

Un Eco-quartier (un néologisme associant le substantif "quartier" au préfixe "éco", en tant qu'abréviation de l'adjectif "écologique") est un projet d'aménagement extérieure qui respecte les principes du développement durable tout en s'adaptant aux caractéristiques de son territoire.

Intégrer des éléments de nature est l'un des fondements de l'aménagement de l'éco quartier, en particulier la végétation qui permet de rendre le cadre de vie plus beau et plus convivial, ainsi de bénéficier de ses divers rôles écologique et paysagère, qui se fait par la végétalisation au maximum les surfaces bâties ou non bâties, horizontales ou verticales ; parc, jardin, plantation variées le long des voiries, les cœurs d'îlot paysagés et les toitures végétalisées. En effet, faire un maillage vert qui favorise aussi bien la biodiversité dans le quartier. Dans les éco-quartiers : « la nature est abondante, surtout paysagère et récréative et prend place à l'abord des logements, de l'espace public et de l'espace environnant. »³⁷

b- Ceinture verte :

Les préoccupations montantes face à une périurbanisation galopante font naître la notion de ceinture verte « Green belt », elle est créée pour ambition de limiter l'extension en "tache d'huile" de l'agglomération, qui se fait souvent au détriment des milieux naturels et agricoles, par définir la périmètre d'urbanisation et les zones prioritaires d'aménagement, ainsi que de maintenir l'agriculture aux fronts extérieurs et préserver le patrimoine naturel, tout en offrant des espaces verts qui répondent à une demande de nature à proximité de la ville pour les

habitants. En effet, la valorisation de ceinture verte s'impose pour ses services qu'elle offre à la ville ; une qualité paysagères, de corridors écologiques qui favorisent la biodiversité,...

D'ailleurs, la notion de ceinture verte n'est pas nouvelle, mais « c'est à Londres qu'on retrouve une application concrète et récente d'une telle mesure (mise en place entre les années 1930 et 1950) ».

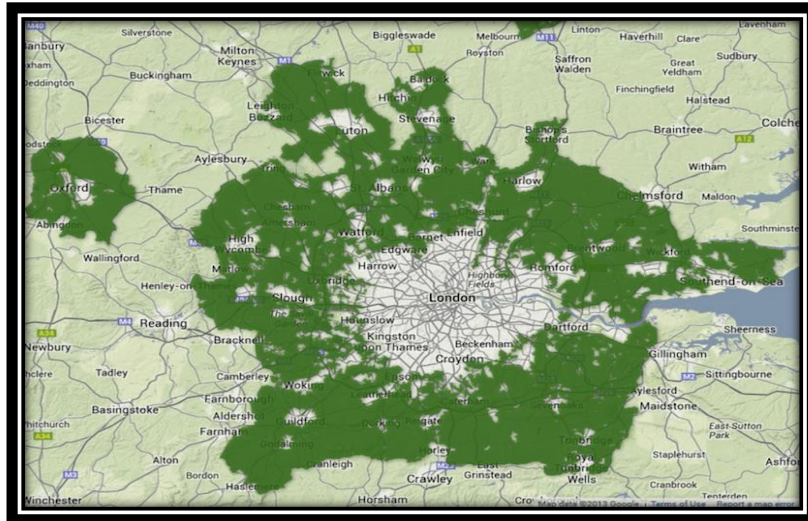


Figure 10 : Ceinture verte de Londres (Angleterre), source(Google maps/2019)

c- Trame verte :

La notion de trame verte peut s'apparenter à la vision des avenues-promenades « parkway » développée par l'architecte paysagiste Frederick Law Olmsted (1822-1903), considéré par le chercheur Julios Fabos (2004) comme le père des Greenway³⁹ (trame verte) aux États-Unis.

Le paysagiste Jean-Claude-Nicolas Forestier (1861-1930) affirmait la nécessité de penser le développement extérieure à partir d'un « système de parcs » qui recouvre des espaces divers allant des « grandes réserves et paysages protégés » aux « terrains de récréation » en passant par les « avenues-promenades», les «parcs subextérieures », les « grands parcs extérieures », les « petits parcs », les « jardins de quartier », « Grandes villes et système de parcs 1908».

Conclusion :

A travers cette étude bibliographique, nous avons essayé de souligner l'importance de la présence de la végétation en milieu urbain. En effet, après avoir rappelé les dimensions symboliques, les qualités esthétiques et multi sensorielles mises en œuvre, nous avons cherché à définir certaines relations entre la ville et la végétation. Ainsi, nous avons pu constater que l'utilisation des arbres et des espaces verts dans des projets urbains ou architecturaux ne pouvait être qu'un élément favorable à l'amélioration du cadre de vie. Afin d'analyser l'influence à un niveau microclimatique, nous avons adopté une approche multicritères des phénomènes physiques, dans un cadre urbain, à une échelle perceptible par l'homme.

De plus, l'analyse des impacts de la végétation suivant des modalités différentes permet de monter des bilans suffisamment complets dont les éléments font appel à des champs d'enquête différentes. La végétation permet l'ombrage, filtre les poussières en suspension, fait écran aux vents tout en favorisant la ventilation, oxygène l'air et le rafraîchit par évapotranspiration. Toutes ses données vont nous aider par la suite, dans l'éclaircissement de certains phénomènes qui seront arrivés lors de l'investigation et de la simulation.

Chapitre 02 :

Architecture des équipements éducatifs

Introduction :

Comme lieux d'éducation et de transmission des savoirs et des valeurs, les établissements scolaires représentent des témoins vivants de nombreux aspects d'une société. Cette dernière, par son développement influe sur la conception de ces bâtiments. C'est ainsi qu'ils attestent d'une évolution au long de l'histoire et ne cessent d'évoluer pour mieux s'adapter aux nouvelles exigences d'un monde en perpétuel développement.

L'architecture des bâtiments scolaires en Algérie a été amenée à s'adapter à de nombreux contextes. Il sera objet dans une partie de ce chapitre de tracer l'évolution de l'espace architectural des bâtiments scolaires dans un contexte national et international. Par ailleurs, les bâtiments scolaires par leur fonction et leur mode d'occupation se distinguent par une conception architecturale assez particulière. Il sera question dans ce chapitre de définir les typologies des bâtiments scolaires les plus récurrentes à l'échelle nationale et internationale et d'étudier les circonstances de leur conception ainsi que leurs caractéristiques architecturales et constructives en Algérie. Les établissements scolaires désignent l'ensemble des bâtiments collectifs destinés à la scolarisation des enfants : écoles maternelles, écoles primaires, collèges et lycées ou groupe scolaire.

L'architecture des bâtiments scolaires est déterminante pour la qualité de la vie qui s'y déroule. Son aménagement et son environnement ont un impact direct sur les progrès scolaires ; il est important que ces bâtiments soient exemplaires du point de vue de qualité de vie et du niveau de confort. L'architecture scolaire présente un caractère particulier, elle exige des connaissances approfondies des pratiques pédagogiques et leur évolution dans le temps. Elle doit aussi garantir la possibilité de redistribuer les espaces au gré de l'évolution des besoins. Les écoles d'aujourd'hui deviennent à usages multiples et peuvent être ouvertes toute l'année. Ce sont des lieux de vie, de formation, de documentation et d'échanges. La flexibilité et la souplesse d'utilisation sont devenues des éléments déterminants de cette architecture.

I- Généralités :**I- Quelques définitions****a) L'éducation:**

L'éducation est, tout d'abord, un droit fondamental de l'homme, défini par l'article 26 de la Déclaration Universelle des droits de l'homme (1948), qui affirme que l'éducation doit être gratuite et obligatoire, et que l'accès aux niveaux supérieurs doit être généralisé et ouvert à tous en fonction du mérite (Guttman, 2003). Selon le dictionnaire LAROUSSE, du latin

(EDUCATIO), l'« éducation » est l'action d'éduquer, de former, d'instruire quelqu'un ; manière de comprendre, de dispenser, de mettre en œuvre cette formation. D'autre part le sociologue Emile Durkheim a défini l'éducation comme : « L'action exercée par les générations adultes sur celles qui ne sont pas encore mûres pour la vie sociale. Elle a pour objet de susciter et de développer chez l'enfant un certain nombre d'états physiques, intellectuels et moraux que réclament de lui et de la société politique dans son ensemble et le milieu spécial auquel il est particulièrement destiné » (Durkheim, 1922).

b) L'enseignement :

L'enseignement se distingue de l'apprentissage qui permet d'acquérir et de développer des savoir-faire, particulièrement dans les domaines artistiques et techniques. Il ne doit pas aussi être confondu avec l'éducation : ce dernier terme, beaucoup plus général, correspond à la formation globale d'un individu, à divers niveaux (au niveau religieux, moral, social, technique, scientifique, médical, etc.). Le terme enseignement de son côté, se réfère plutôt à une pratique d'éducation bien spécifique visant à évoluer les connaissances d'un élève par le biais de communication orale et écrite. « Enseigner est donc éduquer, mais éduquer n'est pas forcément enseigner » (Tebbouche, 2010).

c) L'équipement éducatif :

Le célèbre architecte Le Corbusier disait qu'une habitation devrait être une « machine à vivre ». Les bâtiments éducatifs, comme les lieux qui les entourent et leur mobilier sont des « machines à apprendre » spécialement conçues pour que s'y accomplissent ces fonctions spécifiques, conférences, débats, découvertes et apprentissage individuel (Beynon, 1998). L'équipement éducatif est considéré comme un des composants nécessaires du système interdisciplinaire d'enseignement.

La qualité d'un enseignement est étroitement liée à l'architecture au sein de laquelle celui-ci est dispensé. Lorsqu'on conçoit un nouveau bâtiment éducatif, on ne crée pas seulement des murs qui délimitent l'espace, on crée toute une ambiance. Les bâtiments un apprentissage de qualité. L'apprentissage tout au long de la vie fera des bâtiments scolaires un éducatifs doivent être conçus en vue d'atteindre lieu de ressources pour toute la communauté. Cela exigera des planificateurs et des architectes afin que les mêmes installations soient adaptées à tous les âges de la vie (Beynon, 1998). En Algérie on distingue 3 types d'équipements scolaires l'école primaire, le collège d'enseignement moyen et le lycée (ministère de l'éducation nationale).

d- Etymologie du mot « école » :

Dans la langue française, l'emploi du mot « école » est attesté vers la fin du XI^{ème} siècle, il vient du latin « schola » qui signifie : « loisir consacré à l'étude, leçon et lieu où l'on enseigne » et du grec « skholê » qui signifie « école, loisir, tranquillité et parfois même paresse ».

e- Définition de l'école :

Selon Renald Legendre l'école est un établissement d'éducation, d'enseignement ou de formation professionnelle, placé sous l'autorité d'un directeur, destiné à assurer d'une manière ordonnée l'éducation des élèves et les activités auxquelles prennent part ces derniers de même que les enseignants, les autres membres du personnel administratif et les parents. Cette définition qui se focalise sur les acteurs et les activités sans oublier l'environnement, a le mérite d'être précise et complète. On peut dire qu'il s'agit là, du terme générique applicable à tous les ordres d'enseignement du préscolaire au supérieur

f- Le groupe scolaire :

En France, dans l'enseignement public, un groupe scolaire est un établissement d'enseignement primaire, comprenant à la fois les classes de maternelle (petite, moyenne et grande sections) et d'élémentaire sous une direction commune. Un groupe scolaire dépend généralement de la commune, comme les écoles maternelles et élémentaires. Dans l'enseignement privé, le groupe scolaire a une définition plus floue, et semble parfois inclure le secondaire .

g- Le Collège :

Le terme collège du latin collegium (du préfixe co-qui signifie « avec, même » et lex, legum, « la loi » : « qui a la même loi ») qui désigne au moyen âge une association ou confrérie fonctionnant sur le principe de la collégialité, dont la fonction est d'héberger les élèves pauvres. C'est avant tout un lieu de vie communautaire et religieuse avant d'être un lieu d'apprentissage. Peu à peu, un enseignement fondamental va y être dispensé. Le terme sera ainsi appliqué aux premiers établissements secondaires, qui vont se créer entre la petite école et l'université. Disparaissant avec la révolution, il est remplacé en 1802 par le lycée. Le « collège » réapparaît avec les décrets du 3 août 1963 de la réforme Fouchet-Capelle qui créent les collèges d'enseignement secondaire (CES). (Philip Laurent 2009).

II- Le rôle de l'équipement scolaire dans la société :

L'établissement scolaire est un équipement consacré à l'éducation, il désigne l'ensemble des bâtiments collectifs destinés à la scolarisation des enfants : école maternelle, école primaire, collège et lycée. Qu'il soit privé ou public, il est considéré comme une entité qui a pour vocation première, celle d'assurer aux élèves qui le fréquentent quotidiennement et aux pratiques éducatives les meilleures conditions de confort, d'hygiène et de sécurité. Il est le lieu privilégié du développement social de l'enfant et de l'adolescent dans la société.

D'après le dictionnaire LAROUSSE, « l'établissement scolaire est l'ensemble des locaux où se donne un enseignement (école, collège ou lycée) ». Les établissements scolaires jouent un rôle crucial dans chaque localité. C'est évidemment là que les élèves apprennent et que les enseignants transmettent leur savoir, mais c'est aussi là que sont organisées des manifestations sociales, des représentations théâtrales et des événements sportifs. Ils représentent un indicateur du bien-être de la population locale. Les bâtiments scolaires jouent aussi un rôle important en cas de catastrophe naturelle soit au moment même de la catastrophe soit dans la phase de reconstruction. Lorsqu'un cyclone ou une inondation est survenue, l'école peut servir d'abri d'urgence où la population locale sera hébergée, nourrie et prise en charge. Après un tremblement de terre, les écoles peuvent accueillir les personnes dont les logements ont été détruits ou endommagés.

III- Aperçu historique sur l'évolution spatiale des équipements éducatifs :

1- Dans le monde :

a) Naissance d'un espace bâti destiné à l'éducation :

Ce n'est qu'à la fin du moyen âge que des classes furent ouvertes dans les monastères ou à l'extérieur de ceux-ci. Il s'agissait généralement d'une chambre dans un bâtiment public ou dans la maison du maître. Ces pièces ne servaient d'ailleurs pas uniquement aux activités scolaires. En 1877, l'instauration d'une loi qui interdit le travail des enfants dans les fabriques en Europe était le moment fort de la création d'un espace d'enseignement pour les enfants. Un rectangle avec de grandes fenêtres, des rangées de pupitres tournés vers le bureau du maître caractérisent les espaces scolaires de cette époque. (Foster S. et al., 2004).

b) Naissance d'une architecture scolaire :

Historiquement, l'émergence d'une architecture spécifiquement scolaire est tardive contrairement aux bâtiments militaires, religieux et de l'habitat. La naissance d'une architecture

scolaire proprement dit à l'occident débute à partir de XIX^{ème} siècle, elle correspond au passage de la prise en charge de l'école par l'état. À cette époque en Europe, le modèle Prussien a connu un grand essor. Il s'agit d'un ensemble de salles de cours regroupées autour d'un hall central utilisé pour les enseignements communs et les rassemblements. Les classes avaient des grandes fenêtres donnant sur cet espace. (Foster S. et al., 2004)

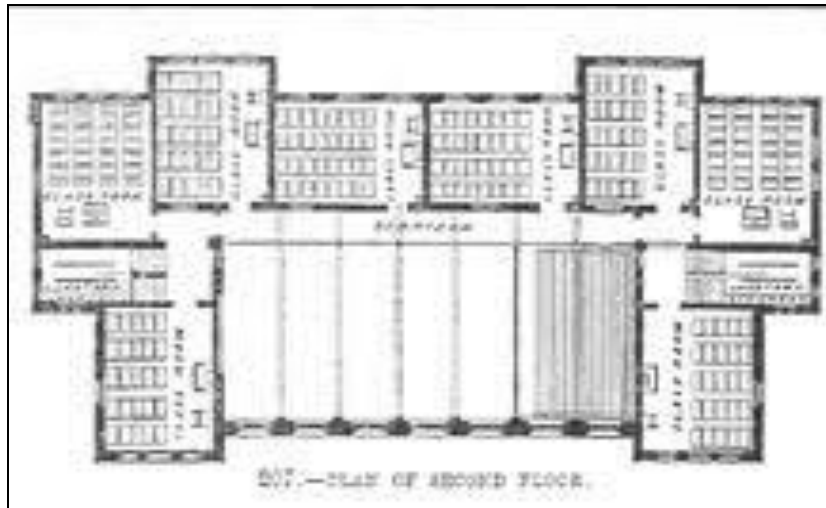


Figure 11: plan d'une école à modèle Prussien, source (Foster S, al,2004)

c) Les bâtiments scolaires à typologie Heitmatstil :

Dès 1907, commença en Suisse une période de construction d'écoles dans un style particulier qui fût célèbre dans toute l'Europe à savoir le Heitmatstil. (Foster S. et al., 2004). Il se caractérise par ses toits à fortes pentes, cheminées, petites tourelles et ses clochetons. Les salles de cours étaient rectangulaires avec de grandes fenêtres ; elles s'organisaient le long des corridors. F



Figure 12: plan d'un bâtiment scolaire à typologie Heitmatstil. source(Foster S. et al., 2004)

d) Le mouvement des écoles de plein air :

Dès le début du XX^{ème} siècle, les pays industrialisés ont ouvert des écoles de plein air. Elles étaient destinées au début du siècle aux enfants tuberculeux afin de créer une atmosphère stimulante, propice à la santé et aux apprentissages. À leur début, les écoles de plein air se contentaient de tentes. Dès les années 1920, elles devenaient une affaire d'architectes ; ces espaces associaient l'air et la lumière afin de favoriser l'épanouissement physique et intellectuel des enfants. (Foster S. et al., 2004).



Figure 13: l'école de plein air du boulevard Bessières à Paris, source(retronews2018)

e) Les écoles pavillonnaires :

Durant l'entre-deux-guerres, avec l'avènement de l'architecture moderne, deux mouvements cohabitaient dont une architecture qualifiée plus sobre et plus fonctionnelle: celui des constructions scolaires en longues barres d'acier et de verre et celui des écoles pavillonnaires. Elles donnaient sur des cours de récréation plantées de pelouses et ombragées où l'on faisait la classe par beau temps. Les écoles pavillonnaires ou les écoles compartimentées avec ailes, portiques et cours ouvertes étaient très répandues durant les années 1950. II.2.6.

f) Les écoles à aires ouvertes :

Le principe des écoles à aires ouvertes ou à plans variables consiste à prévoir dans les nouvelles constructions des volumes communs où les enfants d'âges divers pouvaient travailler en commun. Pour les anciennes écoles, on recommanda d'abattre les cloisons non porteuses et de créer des zones pour les travaux collectifs. La conception générale de ces nouveaux établissements, érigés dès 1969, se caractérisait par la concentration des volumes. De vastes salles de travail gravitaient autour d'un centre appelé hall d'étude, où élèves et enseignants avaient accès. Cet espace était conçu pour faciliter les apprentissages : boxes pour le travail individuel, tables pour les travaux de groupe et cloisons mobiles pour la flexibilité des espaces.

g) La préfabrication du bâtiment scolaire :

Dans la seconde moitié du XX^{ème} siècle, beaucoup de pays de par le monde ont dû faire face à la nécessité de construire massivement de nouvelles écoles pour répondre à l'accroissement mondial de la population et à la demande de bâtiments scolaires qui en découle. Le recours aux méthodes de constructions industrialisées semblait être la solution la plus évidente afin de mieux répondre aux exigences primordiales de flexibilité et de simplicité dans la forme. L'ère de l'architecture scolaire standardisée et industrialisée quoi qu'elle réponde aux exigences de quantité, légèreté, rapidité et économie, elle présentait des limitations portant sur le choix de la forme et de l'aspect architectural des bâtiments. (Tebbouche H., 2010).

h) Des écoles modulables :

L'architecture contemporaine des bâtiments scolaires définit clairement les caractéristiques essentielles des environnements d'apprentissage. Ceux-ci doivent être stimulants et adaptables aux différentes approches d'enseignements qui évoluent au fil du temps. Aujourd'hui, la flexibilité et la souplesse d'utilisation sont devenues des éléments déterminant de l'architecture scolaire. Il faut garantir la possibilité de redistribuer les espaces au gré de l'évolution des

besoins. On parle alors, de plus en plus, d'espaces modulables pour le travail individuel ou de groupe tout en luttant contre l'uniformité des bâtiments scolaires dans le paysage. Les collectivités locales souhaitent aussi de plus en plus voir apparaître des éléments d'architectures diversifiés.

2- En Algérie :

A- Les espaces d'enseignement avant la colonisation française : Avant la colonisation française, le système éducatif était basé sur la religion. On différencie trois types d'espaces d'éducation correspondant aux trois niveaux d'enseignements prodigués durant cette période à savoir :

- a) **Les écoles coraniques :** appelées soit (kuttab) ou (Msid), dont est institué l'enseignement primaire pour des enfants âgés de six à dix ans. Ces écoles sont installées dans les bâtiments d'une mosquée ou d'une (Zaouïa). On dénombrait près de 3 000 écoles coraniques, ainsi que de nombreuses mosquées et (Zaouïas).
- b) **Les Zaouïas :** appelées aussi mosquées dont on enseigne, en plus du Coran, la grammaire. Ce savoir est destiné aux adolescents de dix à quinze ans.
- c) **Les Médersas :** dont s'effectue un enseignement supérieur afin d'introduire diverses matières durant sept années.

B- Les espaces d'enseignement pendant l'époque coloniale : Pendant la période coloniale, il y avait en Algérie deux systèmes éducatifs mis en place par l'administration coloniale. L'un est destiné aux français et l'autre aux indigènes. Ces deux systèmes étaient pratiqués dans deux espaces différents. C'est ainsi qu'a été créé pour les indigènes

- a- **Des écoles primaires :** dès 1850, les français ont créé six écoles françaises musulmanes pour les garçons et trois autres pour les filles. Dans les écoles de garçons, on enseignait la lecture et l'écriture du français, les éléments de calcul, les poids et les mesures. Pour les filles, on y ajoute les travaux d'aiguille.
- b- **Des medersas et des collèges français musulmans pour l'enseignement secondaire :** Les autorités académiques ont créé deux types d'écoles d'enseignement secondaire :
 - **Les medersas :** étaient placées près d'une mosquée, les programmes et les enseignements se proposent de développer la culture arabe et surtout la législation islamique afin de former des fonctionnaires pour l'administration civile.

- **Les collèges français musulmans** : les programmes d'études de ces établissements ambitionnent d'atteindre les mêmes niveaux que les collèges français afin de permettre aux élèves de ces établissements de poursuivre leurs études aux lycées.

C- La période postcoloniale :

- a- La première période : de 1962 à 1976** Au lendemain de l'indépendance, le potentiel de formation peu important et peu diversifié, est constitué essentiellement d'embryonnaires d'établissements spécialisés de formation et de quelques lycées et collèges techniques à vocation professionnelle. Ainsi, la période de 1962 à 1976 est considérée comme une phase préparatoire constituant la garantie du démarrage de l'école algérienne (Gustin S., 2008). Parmi les priorités de cette période on retient : la généralisation de l'enseignement par la création des structures scolaires et l'adaptation des contenus et des structures hérités du système coloniale.
- b- La deuxième période : de 1976 à 2008** Cette période a débuté par la promulgation de l'ordonnance 76-35 de 16 avril 1976 qui a introduit des modifications radicales dans l'organisation de l'enseignement. Ce texte a prescrit un enseignement fondamental obligatoire, gratuit, s'effectuant en neuf années. La période de 1980 à 1989 coïncide avec la phase d'extension des capacités pédagogiques et de diversification des modes de formation. Un cadre institutionnel de l'appareil national de formation est mis en place dans tous ses segments. (Gustin S., 2008). Les années 1990 à 2008 se caractérisent par la mise en place d'un schéma de réformes visant à donner les moyens nécessaires à l'appareil national de formation. Cela est dans l'objectif de s'adapter aux mutations institutionnelles, économiques et sociales entamées dans le pays (Gustin S., 2008).
- c- La troisième période : de 2008 à nos jours** Cette période trace la nouvelle stratégie pour le système éducatif dont la finalité est de contribuer à l'amélioration des conditions d'accueil et de scolarité des élèves. Cela se traduit par :
 - La densification du réseau des établissements scolaires avec la réception en 2009 de 15000 salles de cours, près de 1100 nouveaux collèges, 500 lycées et pas moins de 500 salles de sports .
 - L'amélioration des conditions d'accueil et la lutte contre les déperditions scolaires .
 - La réalisation d'infrastructures de soutien dont 1800 cantines scolaires .

- La réhabilitation des établissements scolaires et le remplacement d'infrastructures réalisées en préfabriqué à Chlef et Aïn Defla après le séisme de 1980 ; Le renouvellement du mobilier scolaire .
- La dotation des établissements du Sud en climatiseurs. (Tebbouche H., 2010).

IV- Typologies et modèles d'organisations spatiales des bâtiments éducatifs :

Montenegro Iturra (2011) a cité quelques études portant sur les différentes classifications des typologies et des modèles d'organisation des bâtiments éducatifs. Dans le cadre d'une étude dont le but est de développer une méthode d'évaluation du confort environnemental dans les phases préliminaires de conception, Da Graça et al (2007) ont analysé les plans de 39 bâtiments scolaires de l'État de São Paulo au Brésil et ont identifié les sept (07) typologies :

- **Typologie 01** : rangée linéaire de salle de classe ;
- **Typologie 02** : plan de couloir avec salles de chaque côté ;
- **Typologie 03** : deux (02) ensembles de plans de type 01 avec un espace ouvert intermédiaire ;
- **Typologie 04** : deux (02) ensembles de plans type 01 avec un espace transition couvert ;
- **Typologie 05** : plan type « L » ;
- **Typologie 06** : plan type « U » ;
- **Typologie 07** : deux (02) ensembles de plans type « L » autour de la cour.

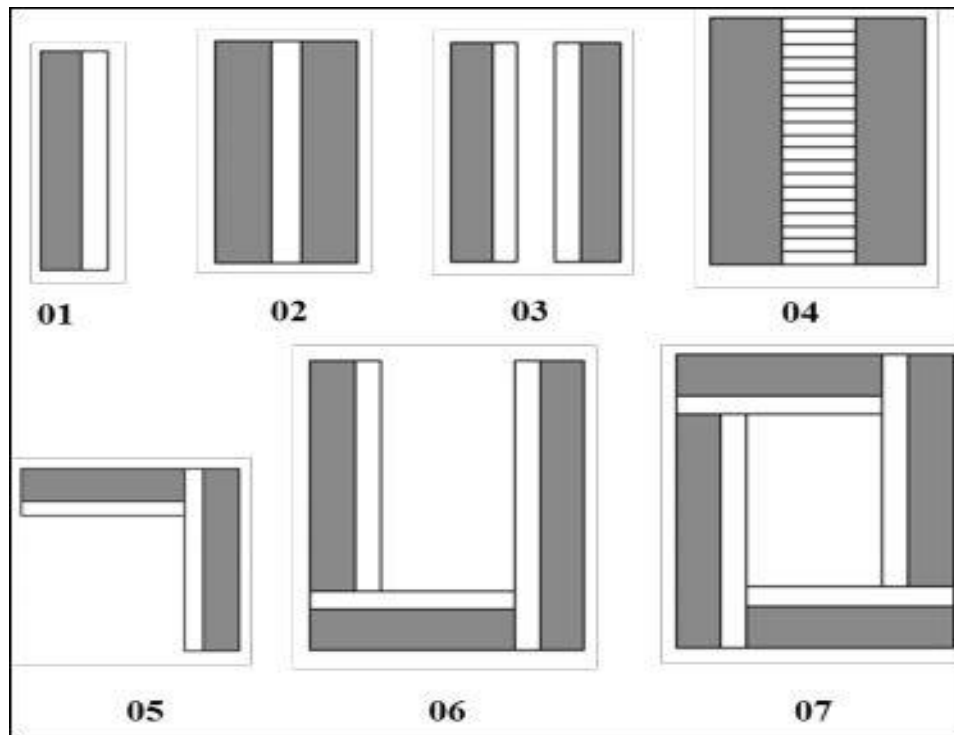


Figure 14: Typologies des bâtiments éducatifs selon l'étude de Da Graça 2007. Source (Labrech.S 2015)

SBDU (2002) ont identifié six (06) types de modèles d'organisation les plus récurrents dans les projets de bâtiments scolaires. Les trois (03) premiers pour niveau primaire, tandis que les trois (03) derniers sont pour le niveau secondaire. Les chercheurs ont ainsi identifiés quelques problèmes relatifs à certaines typologies, par exemple le type « Deep Linear Plan » qui peut être plus efficace pour la conservation de l'énergie, mais qui présente des problèmes de ventilation :

- **Typologie 01** : linear plan .
- **Typologie 02** : deep linear plan .
- **Typologie 03** : street plan .
- **Typologie 04** : pavilion plan .
- **Typologie 05** : campus plan .
- **Typologie 06** : linked pavilions .

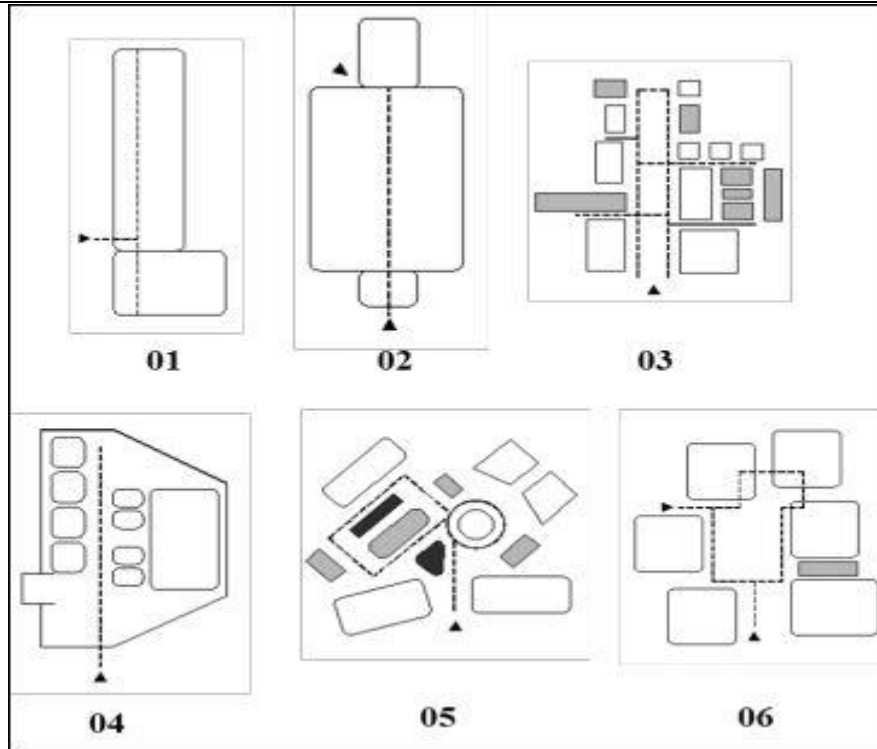


Figure 15: Typologies des bâtiments éducatifs selon l'étude SBDU 2002. Source(Labrech.S 2015)

La classification typologique faite par SBDU (2002) a été révisé par Dudek (2007). Trois (03) typologies principales sont définies qui, selon l'auteur, n'expriment pas la richesse du langage architectural, mais qui peuvent servir de bon outil pour l'analyse et la discussion dans les phases préliminaires de conception :

- **Typologie 01** : street plan .
- **Typologie 02** : campus plan .
- **Typologie 03** : Linked pavilions.

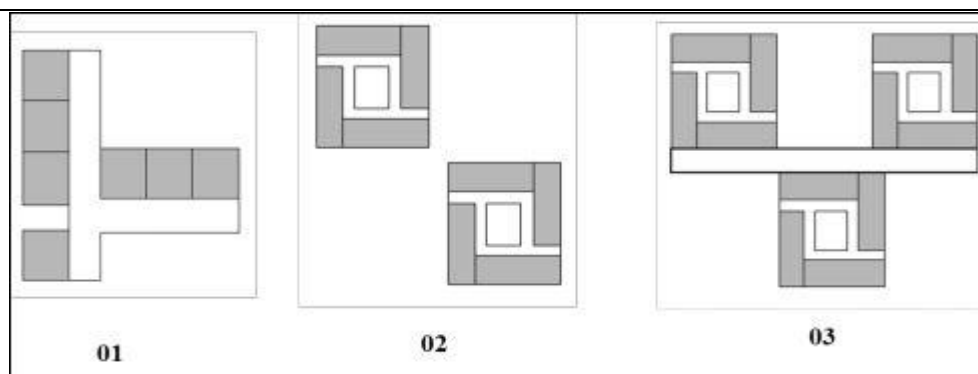


Figure 16: Typologies des bâtiments éducatifs selon l'étude du Dudek 2007. Source(Labrech.S 2015)

Kliment (2001) a proposé six (06) typologies générales classées en trois (03) sous types pour les bâtiments scolaires aux États-Unis : -

- **Sous type 01** : Centralized linear (1), Spine linear (2) .
- **Sous type 02** : Centralized double load (3), Spine double load (4), Drumbell double load (5), Courtyard double load (6) .
- **Sous type 03** : Centralized Clustering (7), Courtyard Clustering (8), Drumbell Clustering (9).

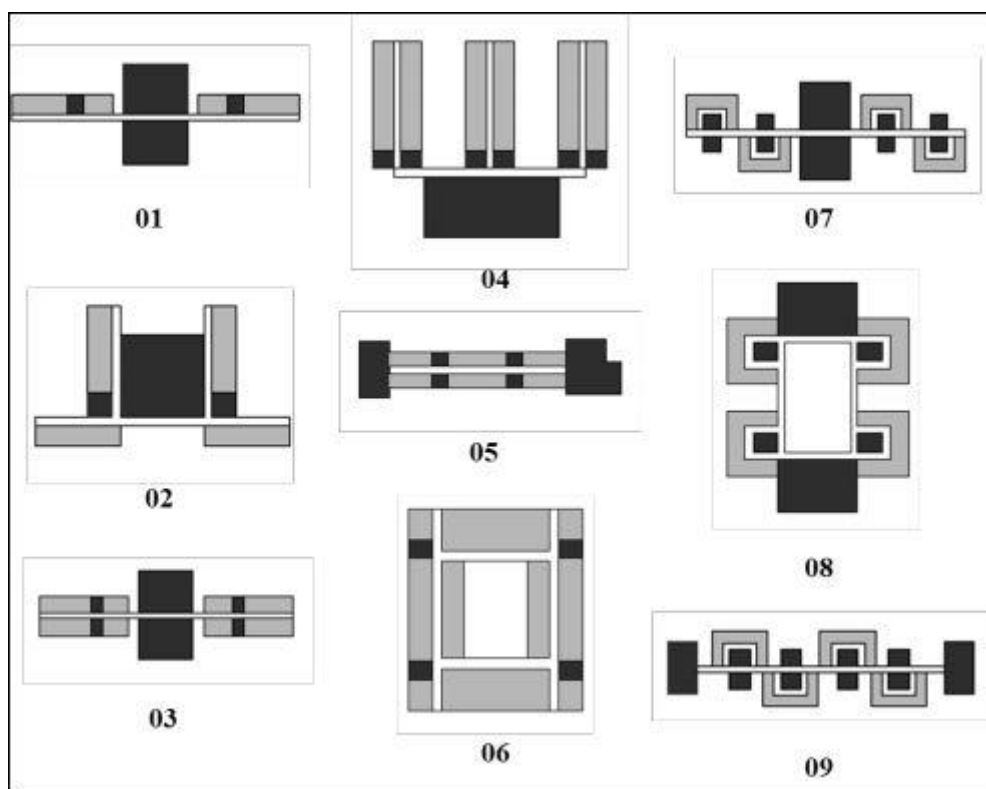


Figure 17: Typologies des bâtiments éducatifs selon l'étude de Kliment 2001. **Source**(Labrech.S 2015)

Dimoudi et Kostarela (2009), sur la base d'une analyse historique des typologies, ont déterminé le modèle ATHINA, un bâtiment modulaire, comme le plus répandu en Grec

- **Typologie 01** : Athina Linear plan
- **Typologie 02** : Athina T plan
- **Typologie 03** : Athina croix
- **Typologie 04** : Athina L plan.

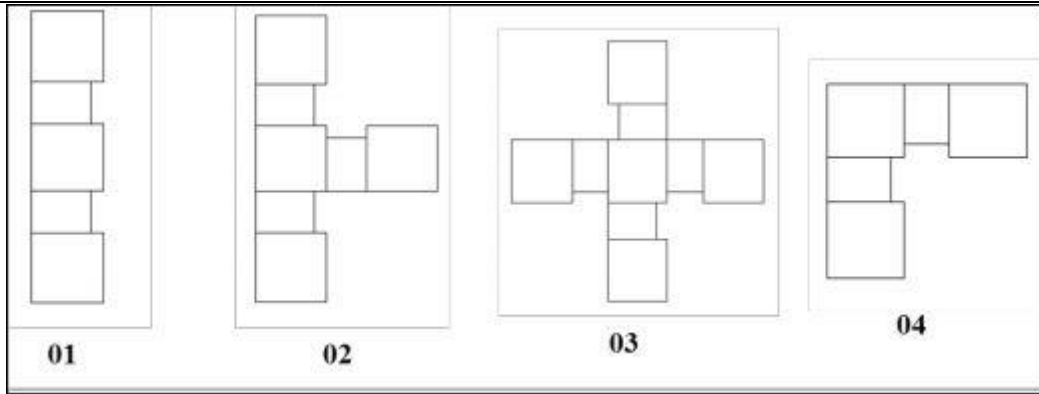




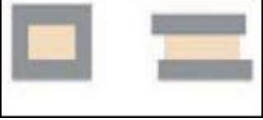







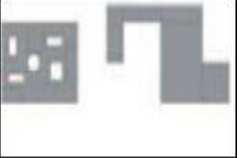




Figure 18: Typologies des bâtiments éducatifs selon l'étude de Dimoudi et Kostarela (2009)
 Source (M. Iturra, 2011 réadapté par Labrech Samia 2015)

Rigolon (2010), de sa part, a procédé une étude des schémas généraux de conception des établissements éducatifs. L'étude est basée sur l'analyse d'études de cas internationales et a mis l'accent sur les bâtiments qui présentent des aspects innovants dans le domaine des espaces d'apprentissage et de socialisation. Deux critères ont été déterminés comme base pour la définition des types sont la morphologie et l'implantation interne. Ensuite quatre types ont été identifiés :

le type cour, le type bloc, le type grappe et le type ville.

Types	Types secondaires		
 <p data-bbox="268 1451 443 1496">Types cour</p>	 <p data-bbox="587 1451 730 1496">Cour fermée</p>	 <p data-bbox="858 1451 1018 1496">Cour ouverte</p>	 <p data-bbox="1145 1429 1321 1518">Cour à espaces multiples</p>
<p data-bbox="204 1563 1369 1630">- La principale caractéristique de ce type est la zone extérieure protégée, facile à surveiller et psychologiquement rassurante ;</p> <p data-bbox="204 1653 1337 1720">- Trois types secondaires ont été identifiés : cour simple fermée, cour simple ouverte et cour à espace multiples</p> <p data-bbox="204 1742 1353 1854">- Le choix d'ouverture ou de fermeture des espaces extérieurs dépend en premier lieu de l'emplacement du bâtiment : des espaces protégés sont préférés dans le milieu urbain, et des espaces ouverts en « L » ou en « U » dans le milieu rural et suburbain</p> <p data-bbox="204 1877 1369 1944">L'organisation des espaces intérieurs suit le schéma d'un couloir permettant d'accéder aux salles de classe.</p>			

				
<p>Types bloc</p>	<p>Atrium collectif</p>	<p>Galerie pédagogique collective</p>		
<ul style="list-style-type: none"> • Il est caractérisé par des volumes compactes, implantations intérieure simple et un grand espace unique menant directement aux espaces principaux d'apprentissage . • Ses différentes configurations sont : l'atrium central et la rue d'apprentissage . • Ce type tend à optimiser les zones de circulation et propose un schéma flexible . • Son espace central donne accès aux différents espaces du bâtiment, il peut aussi être utilisé simultanément pour différentes activités. 				
				
<p>Type grappe</p>	<p>Atriums principaux</p>	<p>Alignement de bâtiments</p>	<p>Atriums individuels</p>	<p>Alignement d'unités</p>
<p>- Ce type peut être décliné en fonction du schéma de circulation, sa principale caractéristique est le bâtiment fragmenté en différents volumes représentant chacun une unité pédagogique .</p> <p>-Sur l'ensemble du bâtiment comme sur les unités pédagogiques, ce type peut présenter soit une implantation longitudinale soit un atrium central qui est plus compacte ;</p> <p>- Les volumes indépendants doivent être reliés par un lieu de rassemblement général définissant le caractère public du bâtiment.</p>				
				
<p>Type ville</p>	<p>Blocs complexes</p>	<p>Structures combinées</p>		
<ul style="list-style-type: none"> • Il est caractérisé par une multiplicité d'espaces, d'où la métaphore de la ville. • La zone centrale, entourée des bâtiments les plus importants, représente son cœur social . • A partir de cet espace central, une série de rues donne accès à des espaces de plus en plus privés sur un schéma organique ; - 				

- Deux types secondaires y dérivent sont : le bloc complexe qui est, souvent, un bâtiment à un seul étage représentant un arrangement assez compacte, et la structure composée formée de différents volumes agencés librement.

V- Architecture des équipements éducatifs :

Dans le souci de mettre fin à la disparité qui caractérisait l'architecture des établissements scolaires au niveau national, de point de vue configuration et taille, le Ministère de l'Éducation Nationale a élaboré trois guides définissant les programmes et les normes à respecter pour la conception des constructions scolaires. Considérés comme les documents de base depuis 1982, les directives érigées par ces guides se résument comme suit : (Ministère de l'éducation nationale, 1982).

1) La programmation :

Le programme d'une construction scolaire a pour finalité de transcrire le plus fidèlement possible les besoins des utilisateurs pour l'exercice des différentes activités pédagogiques. Les principaux critères retenus pour déterminer la taille et les programmes techniques des établissements scolaires en Algérie selon les guides proposés sont :

- La population scolarisable dans l'aire considérée .
- Le cursus scolaire .
- L'organisation pédagogique de l'établissement .
- Le taux d'occupation des locaux. (Ministère de l'éducation nationale, 1982).

Sur la base de ces critères, les programmes officiels décrivant le nombre et les surfaces des locaux destinés à la conception des établissements du 1er et 2ème cycle de l'école fondamentale et ceux des lycées ont été élaborés par le ministère.

2) Classification et typologie des équipements éducatifs :

Pour répondre aux besoins sans cesse croissants nés de l'explosion démographique et devant l'ampleur du programme des infrastructures scolaires qu'il faut réaliser, le ministère de l'éducation nationale a décidé de s'engager dans la normalisation des constructions scolaires. Il est précisé dans l'article n°81 de la loi d'orientation sur l'éducation nationale que l'enseignement est dispensé dans les établissements publics qui sont : l'école préparatoire,

l'école primaire, le collège d'enseignement moyen et le lycée. Il était arrêté pour les écoles fondamentales du premier et deuxième cycle les typologies suivantes .

a) L'écoles primaire :

L'école primaire est une institution publique spécialisée dans l'éducation établissement est réservée aux enfants de 6 à 11 ans , qui permet aux élèves d'acquérir des compétences de base dans les domaines intellectuel, moral et civil et de former l'unité fonctionnelle de base du système éducatif et de l'éducation obligatoire.

En Algérie , on compte les quatre types suivante selon leurs capacité d'acceil :

Type	A	B	C	D
Nombre d'élèves par salle	40	40	40	40
Nombre de salles de cours	3	6	9	12
Capacité d'acceil minimale	120	240	360	480

Tableau 1: classification des écoles primaires en Algérie, source (ministère de l'education national 2008)

b) Les écoles d'enseignement moyen :

Type	Base 03	Base 04	Base 05	Base 06	Base 07
Nombre d'élèves par salle	40	40	40	40	40
Nombre de salles de cours	9	12	16	18	22
Capacité d'acceil minimale	360	480	640	720	840

Tableau 2: classification des écoles primaires en Algérie, source (ministère de l'education national 2008)

c) Les lycées :

l'enseignement secondaire est dispensé dans trois types d'établissements qui sont classés en 03 catégories selon : **Lycée 800, 1000 et 1300** places pédagogiques: lycées d'enseignement

général, lycées d'enseignement technique, lycées polyvalents (enseignement général et technique).

3) La conception du bâtiment scolaire :

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

a) L'implantation :

Le guide des constructions scolaires recommande que le bâtiment soit construit au centre de la zone la plus peuplée. Le terrain d'implantation doit être constructible, libre de mitoyennetés et de servitudes. Il doit être aussi éloigné des voies à grande circulation, des sources de pollutions et de bruits afin de garantir les meilleures conditions de sécurité et d'hygiène.

(Ministère de l'éducation nationale, 1982.)

b) La flexibilité :

La flexibilité dans la conception architecturale du bâtiment scolaire vise à le rendre évolutif. La recherche de la flexibilité s'exerce dans trois domaines :

- L'extension : dans la phase de l'esquisse, l'architecte doit prévoir un agrandissement de 20 à 30 % de la surface définie au programme et de réserver le terrain nécessaire à cet effet. Seuls les types A.B.C sont susceptibles de subir une extension.
- La polyvalence : la conception des locaux doit permettre d'accueillir des activités diverses sans entraîner des modifications dans la construction.
- La reconversion : les transformations intérieures (construction ou suppression des cloisons...etc.) ne doivent pas remettre en cause la structure du bâtiment.

c) Densité du plan de masse :

D'après le guide des constructions scolaires, l'implantation dispersée des bâtiments n'est pas compatible ni avec l'intérêt pédagogique, ni avec le souci de l'économie. Il faut rechercher la concentration des locaux en vue d'obtenir une structure ramassée sans pour autant que cela nuise aux aspects fonctionnels.

d) Orientation:

L'orientation des bâtiments doit tenir compte :

- Des effets d'ensoleillement .
- Des vents dominants. de leur force, de leur fréquence .
- De la topographie du terrain .
- De l'altitude ; Des dispositifs de ventilation naturelle des locaux .
- De la protection à chercher par rapport aux sources de bruit.

En générale, les locaux d'enseignement seront orientés Nord-Sud. Cette disposition permet de diminuer les effets de l'ensoleillement en saison chaude. Toutefois, compte tenu des facteurs cités ci-dessus, d'autres orientations allant du Sud-Est au Sud peuvent à la rigueur être acceptées à condition de prévoir des protections solaires mobiles et une ventilation efficace.

e) Hauteur des bâtiments :

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

(Ministère de l'éducation nationale, 1982.)

4) Les exigences techniques :

a) Salle de classe :

Conception de la salle de cours Les règles générales de la conception et de l'aménagement des salles de cours selon les guides de construction des bâtiments scolaires se résument comme suit:

(Ministère de l'éducation nationale,).



Figure 19 : Salle de classe primaire à Bruxelles, source (portakabin.fr/2019)

- **Forme et dimensions :** Les salles de cours prennent une forme rectangulaire (elles peuvent être elliptique ou carré).
 - La surface modulaire de la salle de classe est estimée entre 60m² à 62m² avec une surface utile correspondante qui ne doit pas être inférieure à 56m² .
 - La hauteur sous plafond est en minimum 3m et ne dépassera en aucun cas 3.50m.
 - La surface utile par élève est de: 1,40 m² à 1,50 m² (avec une capacité de 40 élèves/classe).
 - Le volume l'air exigé est de 4 à 6 m³ par élève.
 - La surface des espaces de récréation est 3 à 5 m² par élève.
- **Les portes :** l'entrée de la salle de cours se situera de préférence du côté du tableau, la porte doit être pleine avec un seul vantail (2mx 0.9m), s'ouvrant vers l'extérieur.
- **Les fenêtres:** afin de concilier les contraintes climatiques et les exigences de l'éclairage, la surface vitrée variera selon les régions de 10 à 15 % du plancher. Toutes les fenêtres seront à doubles vantaux et ouvrantes.

L'éclairage unilatéral ne peut être accepté que si la classe ne dépasse pas 7.20 m de profondeur. L'éclairage bilatéral est recommandé, il offre un meilleur éclairage, une bonne répartition de la lumière et une ventilation transversale efficace.

(Ministère de l'éducation nationale, 2015)

b) Salles spécialisées :

- **Labo des sciences :** conçue pour l'effectif d'un demi classe utilisé pour les travaux pratiques d'une Surface de 45 à 55 m²



Figure 20: labo des sciences d'une école à Lyon, Source (education.gouv.fr/2019)

- **Salle de préparation :**

1 salle pour deux labos pour la préparation des travaux manuels et le travail individuel des professeurs, exposition des collections de science naturelle .

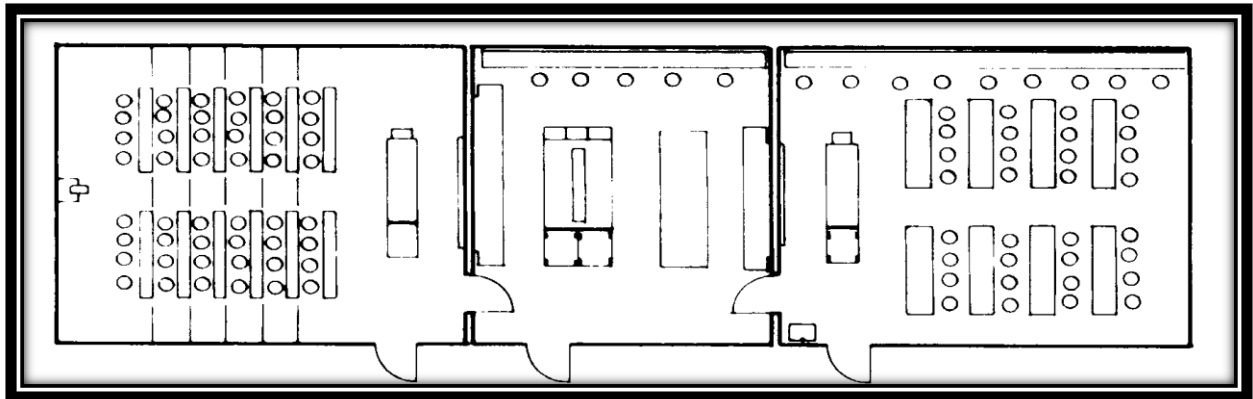


Figure 21: plan d'une salle de préparation centralisée entre 2 labos, source (education.gouv.fr/2019)

- **Salles d'informatique :**

- L'orientation : nord
- Surface : 60m²
- S tables et chaises=19.89m² / S bureau=1.62m²



Figure 22: modèle d'une salle d'informatique, source (google.com/2019)

- **Salle polyvalentes : pour la moitié des élèves au maximum: 1m² par élève**



Figure 23: modèle d'une salle polyvalente, source (google.com/2019)

- **La bibliothèque :**

La bibliothèque est composée de différentes aires dont un espace de rayonnage des volumes, un comptoir de prêts, une salle de travail des élèves, un espace de rangement pour l'équipement audiovisuel, un espace de réparation des volumes, le bureau du bibliothécaire, un dépôt. La superficie allouée varie en fonction du nombre d'élèves que l'école peut accueillir.



Figure 24: Bibliothèque du collège d'Arc à Roubaix – France (Collégedelarc.fr/2019)

c) **Les locaux d'administration :**

On groupe sous cette appellation tous les espaces non utilisés pour l'enseignement et les annexes, en particulier. La composition varie selon les types de bâtiments et l'effectif des élèves. Il comporte généralement les locaux suivants :

- **le bureau du directeur** : Cet espace du fait de sa fonction singulière doit être sécurisé vis à vis des enfants et de l'extérieur.
- **le bureau de l'économiste.**
- **les sanitaires pour le personnel administratif et les enseignants** : Cette zone de sanitaires est dédiée à l'équipe d'enseignement et du personnel administratif, proche de la salle des professeurs et de l'accueil.
- **le local d'archivage/ dépôt pour le rangement du matériel pédagogique** : Lieu de stockage des archives de l'école et éventuellement des réserves de matériel et de rangement de matériel récréatif (ballons, filets...) Ses dimensions doivent être adaptées au volume du matériel entreposé et en fonction de l'organisation locale.
- **le secrétariat,**
- **la salle d'attente et la réception,**
- **la salle des professeurs** : La salle des professeurs doit se trouver en relation courte avec le bureau du directeur sans être obligatoirement au même niveau. Une liaison visuelle au moins avec la cour.

d) La cour de récréation :

Le terrain scolaire est aménagé avec simplicité en plusieurs zones à affectations différentes et - comprend :

- 1) **la zone d'accès pour piétons / circulation pour véhicules et Places de stationnement:**
Les élèves et les véhicules admis à circuler à l'intérieur du périmètre scolaire utilisent des accès séparés. Les accès réservés aux élèves sont correctement protégés des dangers de la circulation. Le cas échéant, des places de stationnement pour véhicules et un espace couvert suffisant pour abriter les cycles et cyclomoteurs seront prévus dans cette zone. Le parcage des véhicules est autorisé exclusivement dans des zones spécialement aménagées.
- 2) **la zone de détente et de jeux avec préau couvert** : Les préaux et places de jeux doivent être accessibles directement du bâtiment et situés dans une zone ensoleillée et à l'abri des vents dominants. Des préaux couverts peuvent être prévus. Ils sont distincts selon les groupes d'âge, et aménagés aux abords immédiats des bâtiments. Ils sont composés de zones dont les unes permettent les ébats des élèves et les autres offrent la tranquillité et le repos. Ils serviront de hangar d'accueil en cas de catastrophes naturelles. En générale, les galeries de circulation servent aussi de préau.

3) **la zone de verdure** : La zone de verdure comprend des surfaces gazonnées et des plantations aménagées aux alentours du préau et des constructions. La recherche d'un équilibre harmonieux avec le voisinage est déterminante quant à l'étendue et à la composition de cette zone. Des arbres doivent aussi être plantés sur la cour de l'école pour créer de l'ombre.

4) **Position des arbres** : Ils ne doivent pas être trop près des locaux mais seront mis en terre diagonalement à ces derniers de manière à infléchir la vitesse et la direction du vent et réduire le flux d'eau sur les locaux lors des saisons pluvieuses ou cycloniques. Il est recommandé d'éviter l'installation de plantes toxiques, mais aussi de plantes mellifères et de plantes épineuses, que ce soit dans les salles de classe, les autres locaux, les cours de récréation. Lors de la plantation d'essences dans la cour de récréation pour constituer une haie, il est recommandé d'éviter les plantations d'ifs, car toutes les parties de ce végétal contiennent des alcaloïdes très dangereux, voire mortels. Certains végétaux sont à proscrire sur les aires collectives de jeux en raison des risques qu'ils présentent pour les enfants. A titre d'exemples, on peut citer les plantes suivantes :

- les végétaux épineux : le rosier, l'épine-vinette, l'acacia, le yucca, l'ajonc, les chardons, les cactées,
- les plantes ou arbustes à baies toxiques: des baies blanches du gui, rouge-orangé : le houx, l'arum, la douce-amère, la bryone, l'if, le muguet, le fusain, le viorne, le chèvrefeuille rouge, des baies bleu/noir de la belladone, le redoul, la morelle, le chèvrefeuille noir, ...
- plantes et arbustes présentant d'autres risques : le cytise, le laurier rose, le laurier-cerise, le lupin, la glycine, l'aconit, le colchique, le vétrate (ellébore blanc), la ciguë, la digitale pourpre, l'ancolie, la grande ortie, la jusquiame, l'aucuba, le ricin ...

Les principes suivants sont respectés lors de la conception et de la réalisation de ces aménagements :

- ségrégation absolue du trafic des véhicules et des piétons dans le périmètre scolaire .
- aménagement de préaux distincts pour les élèves de groupes d'âges différents
implantation des aménagements sportifs de telle sorte que le travail dans les classes ne soit pas perturbé;
- respect des éléments naturels existants, en particulier conservation de la végétation:
aménagement d'espaces verts arborisés (création de zones ombragées)
- traitement approprié des sols et de l'équipement extérieur.

la zone sportive extérieur :

La zone sportive extérieure doit se situer en un endroit ne troublant pas la tranquillité des classes. Le service sportif est assuré dans des terrains de sport appartenant à la communauté ou au ministère du sport).

Dans aucun pays, le terrain de sport n'est prévu dans les écoles urbaines, mais dans certains d'entre eux, il est prévu dans les écoles rurales

e) - Sanitaires des élèves/ espace lave-mains :



Figure 25: Sanitaires filles/garçons de l'école primaire Zaydi Ali à tébessa, source (auteur2019)

- Localisation :** Les sanitaires sont à l'usage des élèves des trois cycles. Espace dédié au lavage des mains, à proximité de la cuisine et de la cour de récréation. En liaison directe avec les espaces de circulation, ils seront localisés à une distance minimale de 5m des bâtiments scolaires et s'il existe des sources d'eau dans les environs, il faudra placer les latrines à une distance assez éloignées d'elles, préférablement plus bas sur la pente, car les saletés peuvent être entraînées par l'eau dans le sol vers les sources. La distance sera d'au moins 30m. L'emplacement et la configuration de ces locaux devra faciliter au maximum la surveillance des lieux
- Normes :**

- Un point d'eau potable de 10 robinets espacés de 60 cm (fontaine) pour 300 élèves
- Lavabos : 1 jet pour 20 élèves (à 70 cm du sol) cabine de WC ou cuvettes de toilettes : une pour 20 filles, une pour 40 garçons un urinoir ou 1ml pour 20 garçons Les hauteurs des cuvettes de WC seront comprises entre 0,35 m et 0,39 m maximum au-dessus du niveau du sol du local.
- Les cuvettes comporteront un bord arrondi ou moulé selon un profil spécial assurant une assiette stable et confortable sans adjonction d'abattant source d'accidents et afin de permettre un entretien facile. S'il s'agit de latrines, les orifices auront environ 20 cm de diamètre.

Si les urinoirs sont construits sur place, ils auront une largeur minimale entre axe de 0,50 m, les séparations latérales auront 1,30 m de hauteur y compris une garde au sol de 0,40 m maximum pour une saillie de 0,30 m mesurée à partir du fond vertical. Le caniveau de recueil sera apparent, continu, de 0,20 m environ de largeur, pourvu de crapaudines nécessaires et situé à la hauteur convenable pour que les enfants ne se mouillent pas les pieds. A titre indicatif, ils seront placés à une hauteur de 0,40 m à 0,50 m.

Équipement complémentaire (équipement valable pour sanitaires "filles" et "garçons")

- 1 poubelle fixée au mur, à côté du lavabo, dont le contenu peut aisément être vidé .
- Distributeur de papier essuie-mains prédécoupé à proximité des lavabos .
- Porte-savons liquide: 1 pour 2 robinets, fixé au-dessus du lavabo .
- Distributeurs de papier hygiénique : 1 par cabine) .
- Pour les sanitaires "filles", prévoir poubelle (s) pour serviettes périodiques.

f) Cuisine :

La cuisine sera attenante à la cafétéria et au dépôt de nourriture Le dépôt possède des entrées sur l'extérieur pour la livraison des denrées.



Figure 26: service de restauration à l'écoles publiques de Challans.à lyon, source(pinterest2016)

La cuisine est bien aérée, bien ventilée pour éviter la chaleur, ordonnée et facile à entretenir pour avoir une propreté maximum.

Principes généraux : Les locaux et leurs annexes doivent être de dimensions suffisantes afin de faciliter les déplacements.

La hauteur sous plafond doit être au moins égale à 2,50 m. Les sols et les murs (jusqu'à 1.80 m) doivent être constitués de matériaux imperméables, imputrescibles, faciles à nettoyer, de couleurs claires, résistants aux chocs, lavables et non toxiques. Le raccordement entre les murs et le sol doit être en gorge arrondie.

La pente des sols doit être prévue de façon à diriger les eaux résiduaires ou de lavage vers un orifice d'évacuation muni d'une grille et d'un siphon garni d'eau. Les sols doivent être antidérapants et aptes à supporter des appareils de cuisson .



Figure 27: réfectoire d'une école primaire à Oran, (Algérie360.com/2019)

- **Dépôt de nourriture** : La zone réception stockage des denrées est équipée de rayonnages et si possible d'un réfrigérateur avec congélateur pour entreposer les denrées. Elle est fermée à clé. Elle est conçue et gérée pour être propre en permanence et en empêcher l'accès aux insectes, rongeurs et autres animaux, nuisibles ou non.
- **Local poubelle** : Les poubelles doivent être munies de couvercle (conteneurs à couvercles faciles à entretenir, à nettoyer et à désinfecter) et être disposées dans un local fermé et réservé à cet effet. Ce local doit posséder une ouverture directe sur l'extérieur. Il doit être correctement ventilés et muni d'un poste de lavage. Les fourneaux dégageant des émanations doivent être pourvus d'un système de ventilation mécanique ou naturel, adéquat et suffisant

g) Appartement et loge de gardien :

Il est recommandé d'aménager un studio pour le gardien dans tout complexe scolaire important. Destination Logement destiné au gardien de l'école permettant d'assurer une présence permanente sur le site

h) Locaux techniques :

- **Fonction:** Les espaces sont destinés à recevoir les différents équipements nécessaires au fonctionnement du bâtiment : local du tableau électrique, local poubelle, local d'entretien.
- **Localisation- liaisons- accès préférentiels :** Les éléments locaux techniques ne sont pas obligatoirement proches les uns des autres. Cependant le local poubelle doit être en liaison directe avec l'extérieur.
- Des locaux d'entretien pourvus d'eau froide équipés sont répartis régulièrement dans tous les bâtiments.

5) L'importance du confort dans le bâtiment éducatif :

La capacité d'étude et le rendement des élèves, telle que la capacité de se concentrer pendant les cours, dépendent non seulement de différentes caractéristiques, telles que la motivation, les conditions psychologiques, l'intelligence, etc. mais également de plusieurs autres facteurs externes qui affectent non seulement l'élève, mais l'environnement global du bâtiment éducatif et de la salle de classe (Abdelatia, 2010). Ce qui est attendu des élèves à la fin est de parvenir à un résultat d'excellence. Lorsque plusieurs élèves ne parviennent pas à ce résultat, plusieurs raisons traditionnelles suscitent notamment les mauvaises attitudes des élèves envers les enseignements et l'étude ; l'insuffisance des efforts des élèves ; le manque d'intérêt au sujet ; l'influence des pairs ; l'influence du soutien de la famille, etc. (Udin, 2008).

Cependant, plusieurs recherches indiquent que des résultats des élèves sont affectés positivement ou négativement par les caractéristiques visuelles, acoustiques, et thermiques de l'environnement de salle de classe. Le modèle de Cash propose que les conditions du bâtiment affectent la réussite et le comportement des élèves directement et/ou indirectement. L'impact direct peut être relatif à l'éclairage, le contrôle du climat, la densité d'occupation, l'acoustique, la couleur, etc.

Quant à l'impact indirect, il peut être en rapport avec l'attitude d'élève, les attitudes des enseignants et des parents, ou par la sensation d'élève envers l'état du bâtiment (Hines, 1996). L'éducation est, donc, un processus complexe sur lequel influent des facteurs situés à l'extérieur comme à l'intérieur des murs de la salle de classe (Murimba, 1995 cité par Beynon, 1998) et l'environnement physique du bâtiment éducatif peut être considéré en tant que deuxième professeur (Sanoff, non daté).

1- Le confort visuel :

Le confort visuel, est une condition très importante pour un établissement d'enseignement, est à prendre en compte dès l'amont du projet, son principal objectif est de fournir des conditions d'éclairage suffisantes pour exercer les activités scolaires, tout en offrant un environnement lumineux confortable, stimulant et attrayant. Bien que l'éclairage naturel procure une meilleure qualité de lumière, tant au niveau physiologique que psychologique, qu'un éclairage artificiel, l'utilisation de la lumière naturelle combinée à un éclairage artificiel performant sont les bases pour une utilisation rationnelle de l'énergie électrique. L'éclairage artificiel doit donc être considéré comme le complément de la lumière naturelle. En effet, la lumière naturelle est le mode d'éclairage le plus agréable, le plus performant et le plus économique.

Dans l'approche environnementale des bâtiments scolaires, l'éclairage naturel est considéré comme un atout très important, non seulement par les économies d'énergie qu'il dégage en limitant la couverture des besoins par de l'éclairage électrique, mais aussi et surtout, par la qualité de la lumière, le rendu des couleurs et l'agrément des vues sur l'extérieur qu'il fournit. Il est tout à fait admis que d'un mauvais éclairage peut résulter une fatigue, un manque d'attention d'où une perte d'efficacité. Me (SAIFEDINE, 2001), dans sa thèse de doctorat intitulée « Le problème de l'ensoleillement dans les salles de classe des nouvelles écoles à Constantine » est arrivé à la conclusion selon laquelle l'inconfort visuel résultant du soleil incident affecte le déroulement normal des activités scolaires, perturbe la concentration de l'apprenant et peut même inhiber sa tâche visuelle et lui causer des troubles visuels sérieux. De plus, les résultats scolaires et le développement physique peuvent-être affectés de façon importante par le type de lumière utilisée dans les écoles.

Le confort visuel dépend d'une combinaison de paramètres physiques à savoir ; l'éclairage ; la luminance, le contraste, l'éblouissement et le spectre lumineux, auxquels s'ajoutent les caractéristiques propres de l'environnement et à la tâche visuelle à accomplir. Le confort visuel relève également de facteurs physiologiques liés à l'individu.

La caractéristique la plus importante quantifiant la qualité de l'éclairage et l'éclairage dont la valeur à atteindre dans un local est fonction du type de local et de la tâche qui est réalisée

TYPE DE TÂCHE OU D'ACTIVITÉ	ÉCLAIREMENT MOYEN À MAINTENIR, EN LUX	UNIFORMITÉ U_0	LIMITATION ÉBLOUISSEMENT UGR	INDICE DE RENDU DES COULEURS R_a
Salle de jeux	300	0,6	19	80
Crèche	300	0,6	19	80
Salle de travaux manuels	300	0,6	19	80
Salle de classe primaire et secondaire	300	0,6	19	80
Salle de classe – cours du soir et d'adultes	500	0,6	19	80
Salle de conférences	500	0,6	19	80
Tableau noir	500	0,7	19	80
Salle de dessin industriel	750	0,7	16	80
Salle de travaux manuels	500	0,6	19	80
Salle informatique	300	0,6	19	80
Laboratoire de langues	300	0,6	19	80
Hall d'entrée	200	0,4	22	80
Circulation, couloir	100	0,4	25	80
Escaliers	150	0,4	25	80
Salle des professeurs	300	0,6	19	80
Bibliothèque, salle de lecture	500	0,6	19	80
Hall de sport, gymnase, piscine – NF EN 12193	300	0,6	22	80
Cantine scolaire	200	0,4	22	80
Cuisine	500	0,6	22	80

Figure 28: les niveaux d'éclairage recommandés dans les établissements scolaires fixés par la norme NF 12464-1

source ((JACQUES DARMON 2010)

2- Le confort thermique :

Le confort thermique est une cible fondamentale pour la qualité des ambiances intérieures et le bien être des usagers. Il est couramment défini comme un état de satisfaction vis-à-vis de l'ambiance thermique. Givoni le définit comme étant l'absence de gêne ou d'inconfort dû à la chaleur ou au froid, ou alors, comme un état engendrant le bien être thermique (Givoni B., 1978).

Tout d'abord, Le confort thermique est l'une des principales caractéristiques qui contribuent à la création d'un environnement propice à l'éducation. Les conditions thermiques dans les salles de classe doivent être considérées soigneusement principalement en raison de la densité élevée d'occupation et des grandes surfaces vitrées utilisées pour un but fonctionnel (éclairage et aération), et en raison des influences négatives qu'un environnement thermique insuffisant a sur la performance d'apprendre (Wong, 2003 ; Boucheham, 2010 ; Firth, 2010). En outre, face aux contraintes thermique dans leur environnement et contrairement aux occupants des habitations et des bureaux qui peuvent ajuster leur habillement et leurs activités sensiblement, la liberté des étudiants pour en faire est dans une certaine mesure limitée (Wong, 2003). La température ambiante dans une salle de classe a des effets sur la performance et le rendement des étudiants dans différentes tâches (lecture, calcul et mémorisation), ainsi que sur leurs comportements. Parson (2000) a confirmé qu'une température élevée a un effet psychologique qui pourrait être la réduction des capacités mentales, le rendement et la

performance du travail .En effet, le confort thermique est lié aux plusieurs facteurs affectant les conditions thermiques des bâtiments scolaires sont les suivants :

A- Facteurs liés aux conditions climatiques :

- La température de l'air .
- L'ensoleillement .
- Le vent .
- L'humidité .
- Les précipitations .

B- Facteurs liés au cadre bâti :

- L'implantation .
- L'orientation .
- L'orientation par rapport au rayonnement solaire .
- L'orientation par rapport aux vents .
- L'enveloppe du batiments (murs,surfaces vitrées..)

3- Le confort acoustique :

Le confort acoustique a une forte influence sur la qualité de vie des utilisateurs, dans certains cas, il ne s'agit plus de confort, mais tout simplement de santé : c'est le cas évidemment des ateliers des lycées techniques et des restaurants scolaires où les niveaux de bruit que l'on y rencontre souvent mettent en péril les facultés auditives des écoliers pour l'avenir. Les orthophonistes et les audiologistes ont mainte fois mis en garde contre les troubles d'apprentissage liés au bruit dans les salles de classe présentant une mauvaise acoustique

Dans l'approche qualitative environnementale pour les établissements d'enseignement, il est indispensable de prendre en considération la sonorité du local dans lequel se trouve l'utilisateur : une salle de classe doit être correctement isolée de la classe voisine, mais sa sonorité propre doit être telle que l'enseignant puisse se faire entendre de ses élèves sans forcer constamment la voix et les élèves doivent percevoir un message non brouillé par de multiples échos provoqués par une trop grande réverbération des parois. Les résultats d'études récentes sur les effets physiologiques et psychologiques que peut entraîner une exposition de longue durée à un environnement bruyant, ont démontré que les nuisances sonores provoquent une baisse d'attention chez l'apprenant, accroissent la fatigue et peuvent conduire à un excès de nervosité, voire à des dépressions, d'où une réduction des performances intellectuelles et diminution de la productivité. Une perturbation dans la qualité de l'environnement sonore peut alors réduire

l'efficacité de la tâche d'apprentissage. Dans le domaine du bâtiment d'une façon générale, l'approche du confort acoustique est fortement marquée par l'approche réglementaire qui, même si elle ne néglige pas les autres aspects, privilégie les différentes exigences d'isolement acoustique (aux bruits aériens intérieurs ou extérieurs, aux bruits d'impact ou aux bruits d'équipement (BORNAREL et al, (1999)).

Conclusion :

De l'étude présentée dans ce chapitre, il est à conclure que l'architecture des établissements scolaires n'est pas le résultat du rien. Elle est le produit des contextes historiques et politiques dont lesquelles elle a été créée. Par ailleurs, l'état de l'art mené sur les typologies des équipements éducatifs, à l'échelle nationale et internationale, a permis de distinguer que les configurations spatiales de ces buildings partagent des caractéristiques communes et peuvent être résumées dans quelques types simples dont découlent divers compositions.

En Algérie, la production des édifices scolaires a dû faire face aux besoins importants dus au développement démographique conjugué à la politique de généralisation de l'enseignement obligatoire et gratuit. C'est ainsi que des guides de construction des équipements scolaires étaient mis à la disposition des collectivités locales. Cependant, les modèles proposés ne sont régis que par des préoccupations d'économie et de rapidité d'exécution sous l'absence totale de l'aspect qualitatif. Sur la base des données recueillies dans ces guides, on constate que :

- ✚ Les constructions éducatifs ont supporté les conséquences d'une typification et d'une conception rigide, or que l'éducation est l'un des domaines qui évolue très vite et qui nécessite une attention particulière concernant les questions du confort des élèves et leur épanouissement dans un environnement durable.
- ✚ Sur le plan architectural, les équipements scolaires partagent les mêmes caractéristiques du fait des plans types proposés. Les bâtiments scolaires se déclinent principalement sous deux configurations spatiales à savoir la typologie de plan à corridor central et la typologie de plan à coursive.

CHAPITRE 03:

Recherches antérieures et méthodes
de travail

Introduction :

L'évaluation du confort thermique extérieur au moyen de simulation numérique est devenue un sujet d'actualité. Les programmes de simulation divers ouvrent des axes de recherches assez impressionnants et permettent de vérifier et d'évaluer les théories les plus anciennes et celles les plus récentes ayant trait à l'architecture bioclimatique.

Dans cette phase on va va montrer les travaux antérieurs de différents chercheurs qui ont étudié la végétation des espaces extérieurs (urbaines), en tenant compte les techniques utilisés et les logiciels de simulation les plus fonctionnels dans notre domaine de recherche avec les résultats qui en découlent. L'exploitation des données précédentes a orienté notre recherche sur une technique plus fiable à savoir une simulation d'actualités qui répond aux exigences actuelles en matière de confort.

I- Travaux expérimentaux et analytiques :**1) Expérimentation de (Mr BALLOUT AMOR. 2010)**

Une étude de quelques aspects concernant la végétation en générale et celle en milieu urbain en particulier, donc à l'échelle du microclimat. Ainsi, nous allons analyser, de manière précise, comment les végétaux ont la possibilité de modifier leur environnement thermique par leurs actions sur les rayonnements de courte et de grande longueur d'onde, par leur influence sur les écoulements aérodynamiques et par le phénomène d'évapotranspiration. L'effet de la végétation dans l'espace extérieur urbain sur la réduction des températures de surface ou d'air et l'énergie solaire absorbée a été examiné, anticipant, ainsi, la partie consacrée à la simulation de l'impact de la végétation sur le confort thermique extérieur.

il a couronné le tout par une simulation avec le logiciel ENVI-met, ajouter à cela des logiciels connexes qui nous ont permis de lire, d'extraire et de déchiffrer non seulement les mêmes paramètres utilisés dans l'investigation (température de l'air, humidité relative et vitesse des vents), mais aussi d'autres paramètres physiologiques liés directement au confort thermique dans les espaces extérieurs (PMV et PPD). La simulation a donné une autre dimension à notre recherche, une sorte de projection dans le futur, vu qu'il a pu simuler des scénarios qui nous ont permis de vérifier l'apport de différents niveaux de densité de la végétation et de l'eau sur le confort thermique dans la place de Ain EL Fouara. Les résultats obtenus par simulation ont été, non seulement comparés aux résultats mesurés in-situ mais aussi entre eux, car la simulation nous ouvre une autre porte, ou dimension dans la recherche et qui est celle de la scénarisation. Cette dernière a permis de comparer différentes situations de la place ayant comme variables la densité du couvert végétal et la surface des étendues d'eau.

2) Expérimentation sur la région de Dora à Beirout :

Ce travail de thèse a permis de contribuer, à travers des simulations numériques du microclimat urbain, à évaluer le potentiel de rafraîchissement de différentes techniques de réduction d'ICU dans le contexte d'un climat méditerranéen. Cette évaluation est réalisée à l'aide d'un outil numérique puissant, ENVI-met, qui prend en considération les différents phénomènes physiques impactant les paramètres microclimatiques ainsi que l'interaction entre les composantes de la ville et son environnement. L'étude s'est concentrée sur un quartier dense de **Beyrouth**, la capitale du Liban en évaluant l'impact du microclimat urbain sur les charges de climatisation du bâti en période estivale. Ce travail a aussi permis d'évaluer l'impact des techniques de réduction d'ICU sur le confort du piéton.

Une étude effectuée sur un quartier dense d'une zone urbaine **Libanaise** a été modélisée avec ENVI-met représentant un cas de base appelé modèle initial. La fonction « forçage simple » a été utilisée pour forcer le modèle à un profil horaire de température et d'humidité relative. Du fait de l'absence de données météorologiques dans le quartier choisi, un sous-modèle a été simulé et les résultats de cette simulation sont utilisés dans la fonction forçage dans le but d'obtenir des résultats plus réalistes. Une hétérogénéité spatiale et temporelle a été observée dans les cartes représentant la 188 température ambiante et l'humidité relative. Ainsi, une analyse microclimatique demeure essentielle avant de déterminer les conditions aux limites entourant un bâtiment. Les résultats extraits ont montré que le facteur de vue de ciel affecte la température moyenne radiante plus que la température ambiante. Une valeur élevée de ce facteur conduit à une élévation de la température radiante surtout durant les heures ensoleillées. L'étude statistique effectuée a aussi montré que la relation entre SVF et la température moyenne radiante est plutôt de type parabolique. (Jeff Fahed. .Toulouse. 2018)

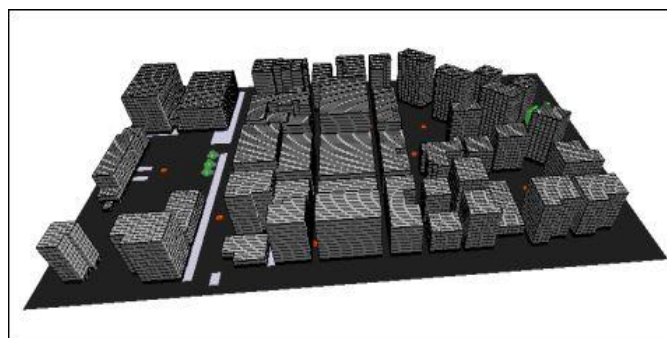


Figure 29 : Le modèle 3D créé à l'aide d'ENVI-met

Source (Jeff FAHED 2018)

3) Experimentation sur les allées Ben Boulaïd à Batna :

Cette étude est faite par Zemoura Zineddine dans le but de démontrer l'impact de la végétation sur la modération du microclimat urbain et le confort thermique, le présent travail prendra les Allées Ben boulaïd comme cas d'étude. Espace urbain (situé dans la ville de Batna, ville de l'Est Algérien), caractérisé par une importante masse végétale. Il abrite certaines activités commerciales et de service. De part sa disposition il représente le noyau de la ville de Batna.

Le quatrième chapitre de ce travail de recherche comprend la simulation. L'utilisation d'un logiciel de simulation pour avoir le plus de paramètres et de données. Le logiciel utilisé est l'Envi-met 3.0 conjugué à d'autres programmes complémentaire. L'utilisation du logiciel permet d'étendre la marge de la recherche et de compléter la première phase. Cette partie implique une corrélation entre les données mesurées ou simulées afin de comprendre l'apport de la végétation sur le microclimat de notre cas d'étude et le confort thermique. L'objectif de cette partie est l'aboutissement à des recommandations utiles à l'intégration de la végétation dans la conception urbaine et architecturale. Ces recommandations vont donner les moyens de contrôle des

Les résultats obtenus à l'aide de l'Envi-met sont utiles pour les architectes, les urbanistes et paysagistes dans la conception des espaces une meilleure qualité de confort et d'agrément pour les usagers.(Zemmoura Zineddine 2009)

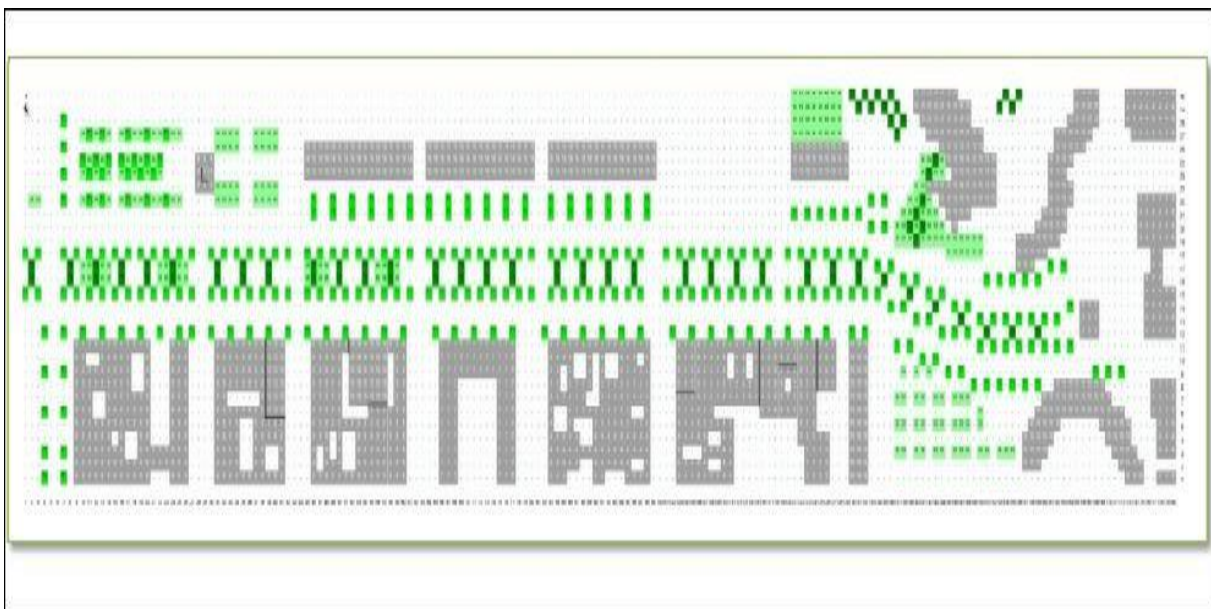


Figure 29: Fichier éditeur de l'axe étudié source (Zemmoura Zineddine 2009)

4) Expérimentation sur la Climatologie urbaine de la ville de Caen :

il apparaît que les divers travaux sur Envi-Met et avec la caméra thermique confirment les éléments exposés dans les études de climatologie urbaine. Grâce à eux, nous avons eu la confirmation des effets de l'imperméabilisation et des surfaces avec bâtis dans le climat urbain. Effectivement, les constructions apparaissent comme de véritables pièges à chaleur dans nos divers travaux. Ceci nous indique également que ce phénomène semble être un élément présent dans une agglomération de moindre importance comme Caen. La restitution lente de chaleur des constructions humaines va dans le sens des différences positives pour la ville en fin de journée (comparaison ville-périphérie). Par conséquent, dans le contexte actuel de l'étude il semble qu'un effet urbain soit bel et bien présent sur l'agglomération. Le terme d'îlot de chaleur urbain paraît quelque peu fort pour caractériser cet effet urbain. Néanmoins, il pourrait être intéressant de continuer cette recherche en période propice à l'établissement de différences climatiques entre ville et périphérie. Ceci nous permettrait d'être certainement plus proche d'un travail complet et également plus utile puisque la période estivale correspond au moment où les enjeux sanitaires apparaissent comme les plus forts.

(Alexandre Follin 2009)

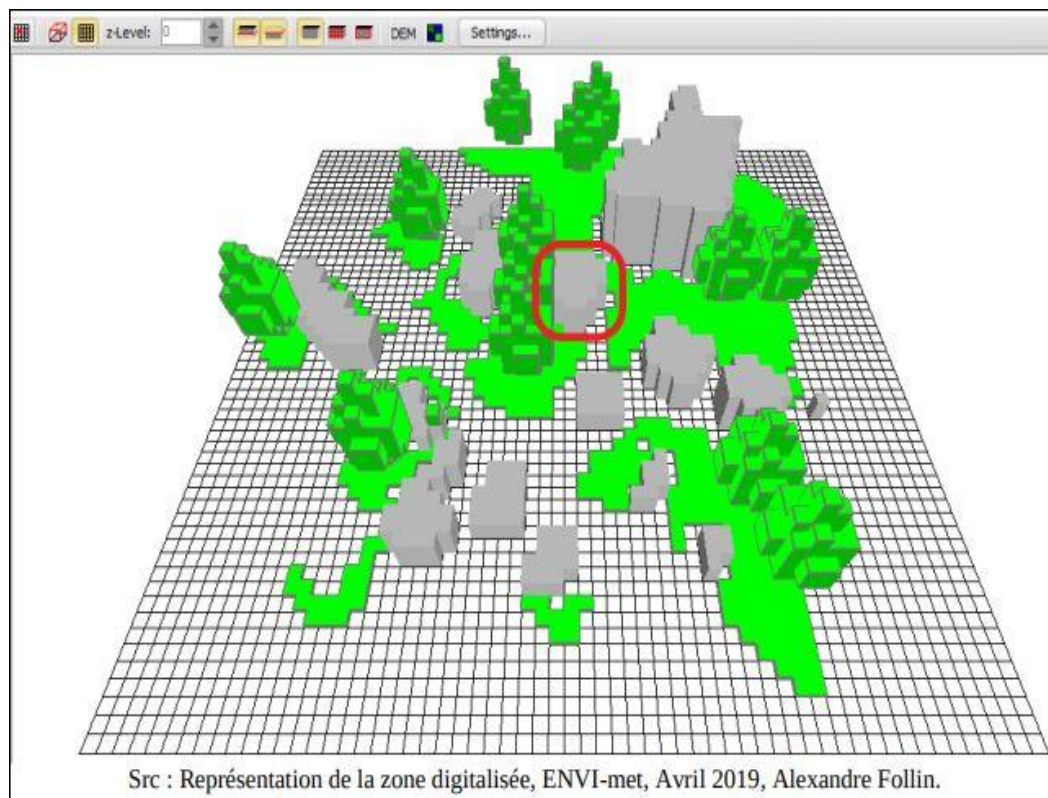


Figure 30: Représentation de la zone digitalisée avec l' Envi-met, **Source** (Alexandre follin 2019)

5) Experimentation sur le microclimat à l'aide de l'Envi-met :

- ENVI-met a été aussi l'outil de simulation des travaux de (Bennet & Ewenz, 2013) en 2013 montrant l'influence de la hauteur des bâtiments sur le phénomène d'ICU. Ils ont observé que lorsque la hauteur des bâtiments atteint la largeur des rues, la température au niveau de la rue cesse d'augmenter. De même, Bennet et Ewenz ont indiqué que l'ombrage des surfaces bâties et le stockage de chaleur dans les murs affectent la température atmosphérique.
- En 2014, (Taleghani, et al., 2014) ont réalisé des simulations microclimatiques d'un campus universitaire à Portland aux Etats-Unis. Les simulations extraites par ENVI-met indiquent que le modèle avec végétation contribue à une diminution de 1.6 °C de la température de l'air alors que l'intégration du bassin d'eau provoque une diminution de 1.1 °C. Le changement de l'albédo des pavements de 0.37 à 0.91 permet de diminuer la température de l'air de 1.3 °C mais contribue d'autre part à une augmentation de 2.9 °C de la température moyenne radiante.
- (Dardel, 2015) a aussi utilisé ENVI-met pour étudier le phénomène des îlots de chaleur dans un climat chaud et humide. Le cas choisi est la ville Fortaleza au Brésil. D'après plusieurs recherches antérieures, le rapport H/W qui optimise la vitesse du vent dans les rues est de l'ordre 1.5. Selon Dardel, la valeur optimale du rapport H/W peut être plus grande que 1.5 si on s'intéresse à l'indice du confort thermique PMV. Ses travaux montrent que le PMV a diminué de 3.3 dans une zone sans végétation à une valeur de 2.4 dans une zone plantée d'herbes et arbres.
- Une autre étude numérique à l'aide d'ENVI-met a été effectuée par (Peron, et al., 2015) pour analyser l'effet d'ICU à Venise Italie. L'objectif de ce travail était d'analyser l'effet des mesures d'atténuations d'ICU sur la température ambiante. Une diminution de la température T_a d'environ 4 ° est observé en utilisant des pavements avec grand albédo et perméabilité et les toits végétalisés à la place des pavements ordinaires (asphalte et béton) et des toits traditionnels.
- Enfin, le travail de (Maleki & Mahdavi, 2016) qui ont étudié le microclimat urbain à Vienne en réalisant des simulations par ENVI-met, a montré que l'augmentation des surfaces végétalisés et des matériaux perméables conduisent dans les conditions de l'étude à une diminution de la température de l'air de 3 °C.

II- Les méthodes de travail :

1- Les méthodes descriptives

Il ya eu de nombreuses méthodes et outils, tels que :

*Les mesures sur terrain (in-situ), mesure de la température à divers endroits par le thermocouple comme l'étude Vancouver, Canada, 200 ; Hashem Akbari 2000.

*L'utilisation de l'outil cartographique et les données thermiques obtenue par satellite, tel que l'étude de Providence, USA, 2001 (logiciel UTM, et les images satellite Landsat 7).

Méthodes basées sur le traitement de données climatiques mesurées à partir de stations météorologiques fixes, comme l'exemple d'étude de Genève.

Ainsi que d'autre étude de la densité urbaine sur la balance énergétique des surfaces et leurs rapports au climat local, etc.

2- Les méthodes physiques

Pour l'étude des perturbations climatiques engendrées par une ville, il est intéressant de distinguer, nous l'avons vu, trois échelles d'étude : la micro-échelle, l'échelle locale et la méso-échelle (première partie, chapitre 1). Le climat urbain ou, plus précisément, les différents phénomènes physiques à son origine sont aujourd'hui modélisés à chacune de ces trois échelles avec plus ou moins de précision. Plusieurs modèles ont ainsi été développés, avec chacun leurs propres hypothèses et leur propre portée. Il ya eu de nombreuses méthodes et logiciels de simulation numériques, tel que :

A- Modèles climatique à l'échelle locale de la canopée urbaine :

- Modèle TEB (Masson 2000) qui n'est applicable qu'à la partie construite des villes et qui ne traite pas les surfaces végétales.
- Modèle SM2U qui traite l'ensemble des échanges hydrique (Dupont 2001).
- Modèle CAT (Erell et al 2006), qui estime la température dans un canyon urbain.

B- Modèles climatique à l'échelle locale :

Les modèles s'intéressant aux échelles locales s'appuient sur une discrétisation spatiale (maillage) relativement fine du cadre bâti. Cette description du cadre bâti permet une représentation relativement précise des qualités climatiques d'un lieu. Cette finesse de la description ne permet cependant pas une représentation entière d'une ville. Il existe plusieurs modèles de simulation, pour illustrer cette échelle, on a sélectionné les modèles suivantes :

- **SOLENE :**

Le logiciel de simulation SOLENE est un modèle thermo-radiatif qui a été développé par le laboratoire CERMA (Centre de recherche méthodologique d'architecture) à Nantes suite à des

recherches sur les paramètres solaires, lumineux et radiatifs des projets architecturaux et urbains. SOLENE s'appuie sur une modélisation 3D (Figure 4.1) des volumes construits et intègre de nombreux calculs qui permettent de tenir compte des effets solaires, lumineux et thermiques de la forme urbaine sur les conditions et le confort en extérieur. Son principal intérêt est de permettre l'analyse des interactions entre la forme urbaine et ses dimensions environnementale et climatique, et ce en corrélant des données géométriques de la forme urbaine (agencement, direction, densité, profil des rues, type de bâti...) avec des propriétés physiques de l'espace bâti (rugosité, perméabilité de l'air, ouverture au ciel, exposition solaire, potentiel de lumière...) (Groleau *et al.*, 2003) ; (Ringebach, 2004) ; (Musy *et al.*, 2006).

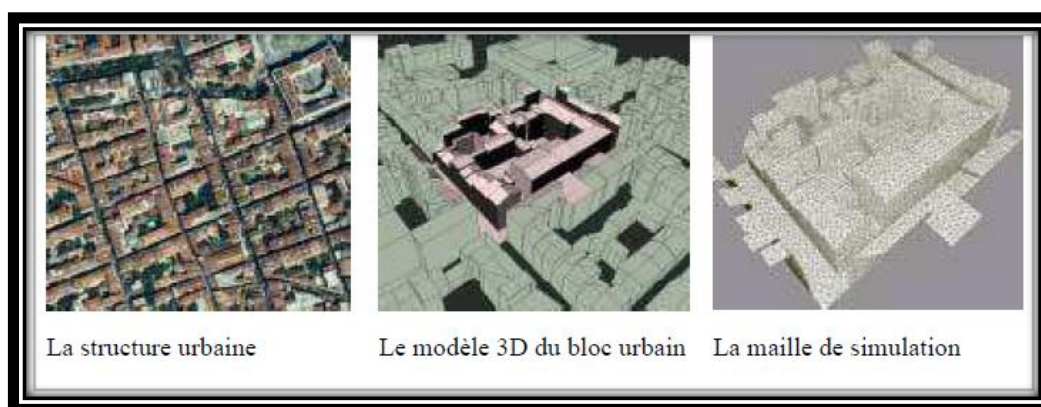


Figure 31: De la structure urbaine à la maille de simulation, source(Groleau *et al.*, 2003).

- **SURFEX :**

SURFEX (Surface Externalisée, en français) est une plate-forme de modélisation de surface développé par Météo-France en coopération avec la communauté scientifique. SURFEX est composé de divers modèles physiques pour la surface des terres naturelles, les zones urbanisées, les lacs et les océans. Il simule également des procédés de chimie de surface et d'aérosols et peuvent être utilisés pour l'assimilation des variables de surface et de la surface à proximité. SURFEX a ses propres procédures d'initialisation et peut être utilisé en mode autonome et couplé à un modèle atmosphérique. (Figure 4.2)

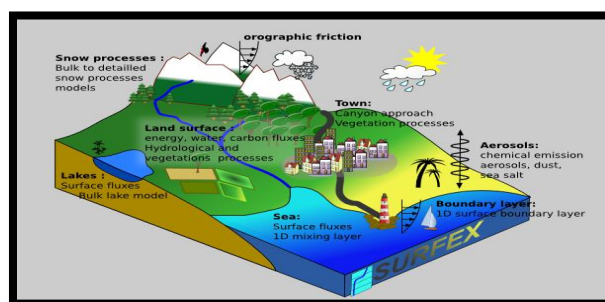


Figure 32:Exemple d'un modèle de surfex. *source (meteo.fr/2020)*

- **VUMC :**

Le modèle de la canopée urbaine végétalisée (VUCM) est mis en œuvre dans un modèle météorologique (Figure 4.2). Le VUCM comprend divers processus physiques urbains tels que le transfert en canyon radiatif, les échanges d'énergie turbulente, substrat conduction de la chaleur, et en canyon dynamique traînée. Le modèle RAMS / VUCM couplé est évalué et utilisé pour examiner ses impacts sur la structure dynamique et thermodynamique de la couche limite urbaine (UBL) dans la zone métropolitaine de Séoul. La répartition spatiale de l'nocturne îlot de chaleur urbain (ICU) à Séoul est très bien simulée par les RAMS / VUCM. Une évaluation statistique de 2 m température de l'air révèle une amélioration significative de la performance du modèle, en particulier dans la nuit. Le RAMS / VUCM simule les variations diurnes de flux de surface du bilan énergétique réaliste. Cela contribue à la formation d'UBL raisonnable.

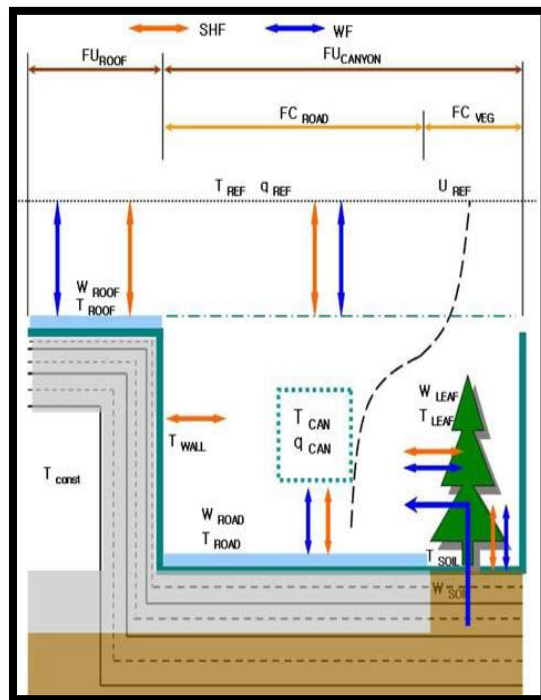


Figure 33: The schematic diagram of VUCM. Light and dark arrows indicate the pathways of heat and moisture, .

source: Boundary-Layer Meteorol (2008)

- **ENVI-MET :**

ENVI-met (Environmental Meteorologie) a été développé au sein du Groupe de Recherche en climatologie (GRC) au département de géographie de l'université de Bochum en Allemagne par Michael Bruse. Ce modèle simule les interactions entre différentes surfaces urbaines, la végétation et l'atmosphère. Il permet ainsi d'analyser l'impact sur le microclimat de

modifications de l'environnement urbain à petite échelle (arbres, cours intérieures végétalisés, etc.). (Bruse, 1999 ; www.envi-met.com/). (Bruse, 2004 ; Ali-Toudert 2005 ; Yu et Hien 2006)

C- Modèles climatiques de l'échelle locale à la méso-échelle

- Modèles empiriques, tel que : NARP-LUMPS (Net All- wave Radiation Parameterization/ Local-scale Urban Meteorological Pre-processing Scheme), (Grimmont et Oke 2002 ; Masson 2006).
- Modèles de végétalisés adaptés pour inclure des surfaces urbanisées, tel que : SM2U (Soil Model For Sub-Mesoscale Urban), (Leroyer et al 2004 ; Dupont et al 2002 ; Mestayer et al 2004).
- Modèles de la canopée urbaine :
 - Modèle simple couche (la canopée de l'air est modélisé), tel que : TEB (Town Energy Balance), (Masson 2000 ; Toulouse 2008 ; Montréal ; Lemonsu et al 2010).
 - Modèle multi-couches (plusieurs couches d'air sont explicitement influencées par les bâtiments), tel que : FVM urban module (Finite Volume Model), (Martili 2001 ; Suisse Krpoetal 2006).

III- Choix d'un modèle de simulation numérique :

L'étude du phénomène d'ICU au moyen de simulation numérique est devenue un sujet d'actualité. Les programmes de simulation divers ouvrent des axes de recherches assez impressionnants et permettent de vérifier et d'évaluer les théories les plus anciennes et celles les plus récentes.

Chaque modèle a ses avantages et ses inconvénients qui influencent plus ou moins leur capacité à modéliser les modifications climatiques de la ville. L'étude de ce travail est basée sur le programme de simulation ENVI-met 4.0, un logiciel déjà testé et exploité dans plusieurs travaux de recherche .

1- Critère et motivation du choix du logiciel :

D'après notre recherche sur les travaux antérieures de plusieurs cas d'études le logiciel proposé de l'utilisée dans notre cas de recherche est le logiciel de ENVI-met 4.0 à cause des avantages suivantes :

- Ce modèle est accessible gratuitement et ce avec les explications (en anglais) sur son fonctionnement et son utilisation (Site web : www.envi-met.com/). Il existe déjà une communauté d'utilisateurs et plusieurs exemples de l'usage qui peut être fait d'ENVI-met.
- Simulation de toutes les dynamiques du microclimat.

- Il permet le traitement de plusieurs structures urbaines.
- Il demande un nombre limité des entrées et donne un nombre illimité de sorties .
- Une grande résolution spatiale et temporelle.

2- Présentation d'ENVI-met :

ENVI-met (Environnemental Météorologie) a été développé au sein du Groupe de Recherche en climatologie (GRC) au département de géographie de l'université de Bochum en Allemagne par Michael Bruse. Ce modèle simule les interactions entre différentes surfaces urbaines, la végétation et l'atmosphère. Il permet ainsi d'analyser l'impact sur le microclimat de modifications de l'environnement urbain à petite échelle (arbres, cours intérieures végétalisés, etc.). (Bruse, 1999 ; www.envi-met.com/)



Figure 34: logo du logiciel Envi-met Source (Envie-met company/2020)

- ENVI-met est un modèle 3D non hydrostatique qui s'appuie sur une grille géométrique. La résolution horizontale est entre 0,5m et 5m pour une maille. Au total, la grille entière (le maillage) peut avoir une dimension de 250x250x25 mailles pour les ordinateurs récents. Ce la permet de couvrir une zone de 100mx100m jusqu'à 1kmx1km. ENVI-met n'est donc pas conçu pour modéliser le climat d'une ville entière mais seulement d'un quartier.
- ENVI-met s'appuie sur la résolution numérique des équations de la mécanique des fluides et sur le bilan d'énergie. En d'autres termes, il calcule l'écoulement du vent autour des différentes structures urbaines ainsi que les autres variables associées au bilan d'énergie et aux processus de transfert atmosphérique (calcul des ombres, de la réflexion, de la turbulence, de l'évaporation des plantes, etc.) (Bruse, 2004). En plus de ces éléments, le modèle simule également la dispersion des particules ou encore le confort thermique en extérieur.
- L'interface utilisée pour entrer les paramètres de simulation (pas de temps, implantation du bâti, hauteur des bâtiments, type de végétation, sources de pollution, etc.) est plutôt simple d'utilisation et permet de visualiser en deux dimensions la zone urbaine à modéliser. La

simulation, qui peut être effectuée sur un ordinateur de bureau, peut prendre entre quelques heures et quelques jours selon la modélisation effectuée. Un outil de visualisation (LEONARDO) permet ensuite de visualiser les résultats de la modélisation, en 2d comme en 3d (Bruse, 2004).

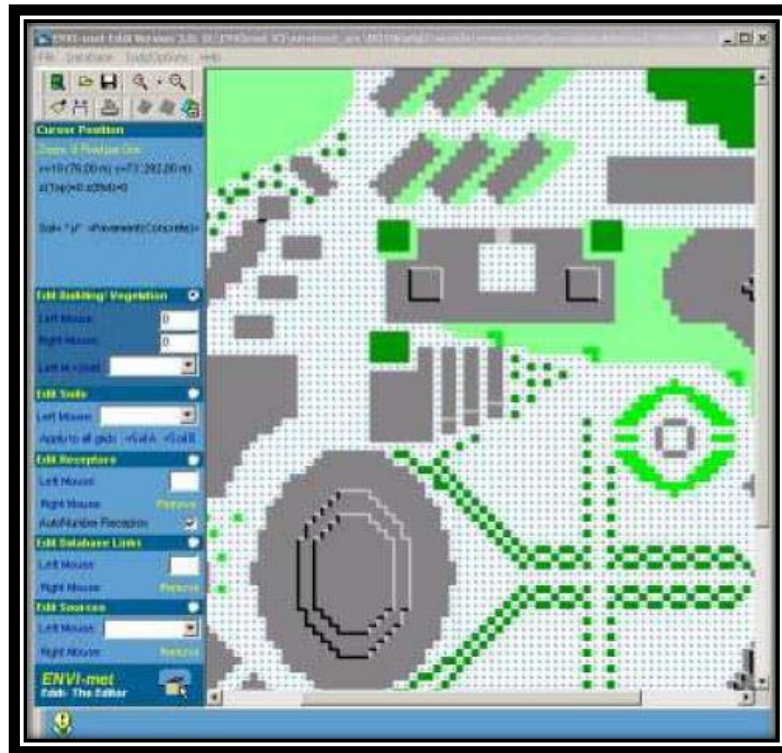


Figure 35: Un exemple de l'éditeur utilisé pour créer les fichiers nécessaire à la simulation pour ENVI-met,

Source (Bruse, 2004).

- Ce modèle est accessible gratuitement et ce avec les explications (en anglais) sur son fonctionnement et son utilisation (Site web : www.envi-met.com/). Il existe déjà une communauté d'utilisateurs et plusieurs exemples de l'usage qui peut être fait d'ENVI-met.

Envi-met présente plusieurs avantages:

1. Simulation de toutes les dynamiques du microclimat.
2. Il permet le traitement de plusieurs structures urbaines: Constructions de plusieurs tailles et de différentes formes et hauteurs accompagnés avec les Simulation moindres détails tel que: galeries et auvents. La végétation chez Envi-met n'est pas seulement un simple obstacle poreux aux vents et aux radiations solaires, mais aussi il inclut les processus d'évapotranspiration et de la photosynthèse. Plusieurs types de végétation peuvent être utilisés, le sol est considéré comme un volume composé de plusieurs couches de plusieurs types.
3. Une grande résolution spatiale et temporelle.

4. Il demande un nombre limité des entrées et donne un nombre illimité de sorties ().

Yu et Hien (2006) ont par exemple étudié l'impact thermique d'un parc urbain. Leur étude montre que l'effet refroidissant du parc dépend de la direction du vent et de la distance des bâtiments par rapport au bois. La simulation effectuée a eu lieu lors d'un jour ensoleillé et sans nuage, avec un vent allant du sud vers le nord d'une vitesse de 1,6 m/s à 10 m au-dessus du sol. Il y a eu 48h de simulation. Les conditions initiales ont été celles mesurées sur le site existant, c'est-à-dire celui avec la forêt (a). (Figure 4.5)

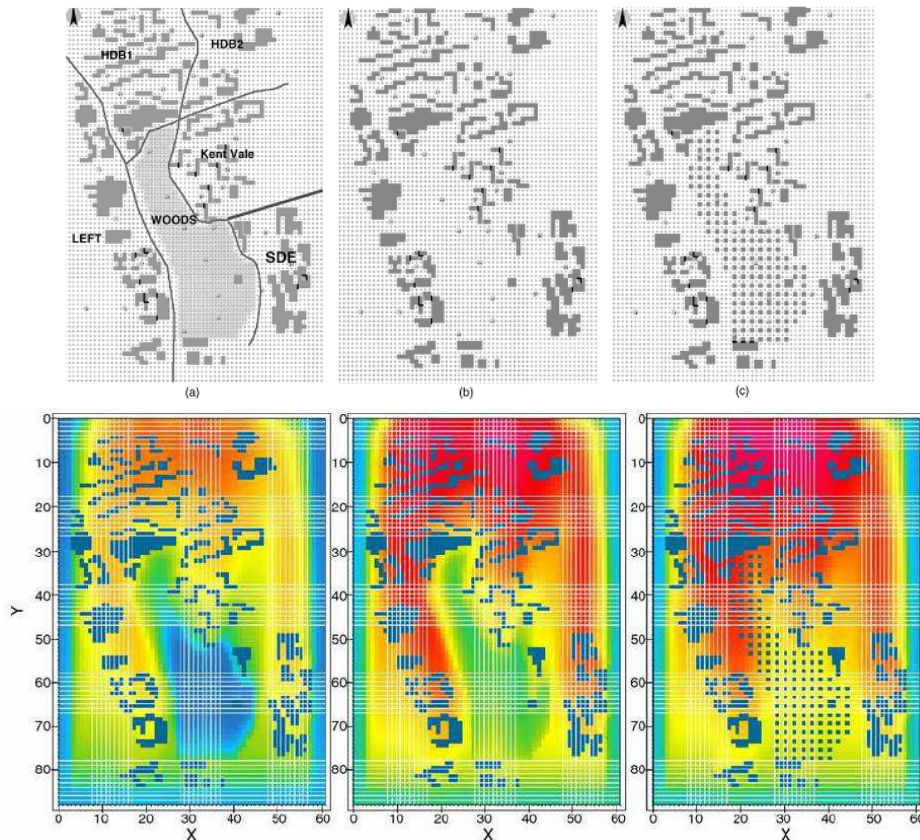


Figure 36: Trois scénarios et leurs profils des températures, source (Yu et Hien, 2006)

Conclusion :

Nous avons aboutis à travers notre recherche à utiliser la méthode de simulation numérique qui nous dispense de l'ancienne méthode qui est la soufflerie.

Le système CFD englobe plusieurs logiciels de simulation numérique. La méthode actuelle est plus fiable et plus performante. Envi-met rallie les différents paramètres concernant le confort thermique notamment la végétation qui fait partie très importante dans notre étude.

Deuxième partie :
La partie pratique

CHAPITRE 04 :

Présentation du cas d'étude

I- Introduction :

La méthodologie de cette démarche sera caractérisée par une étude architecturale de la ville de Tébessa et précisément sur le cas d'étude à savoir la cité des écoles à travers ses spécificités géographiques et climatologiques.

II- Présentation de la ville de Tébessa :

1) Situation Démographique Et Superficie :

La wilaya comprend une population de 634 332 habitants. (Estimation 2007) et s'étend sur une superficie totale de 14 227 km².(Locales, 2009) (Ministère de l'Intérieur et des Collectivités Locales, 2009)

2) Situation Géographique :

La wilaya de Tébessa est située au Sud-est du pays, sur les Hauts plateaux.

Elle est limitée :

- Au Nord par la wilaya de Souk-Ahras
- A l'Ouest par les wilayas d'Oum El Bouaghi et Khenchela
- Au Sud par la wilaya d'El- Oued
- A l'Est par la Tunisie. (Ministère de l'Intérieur et des Collectivités Locales, 2009)

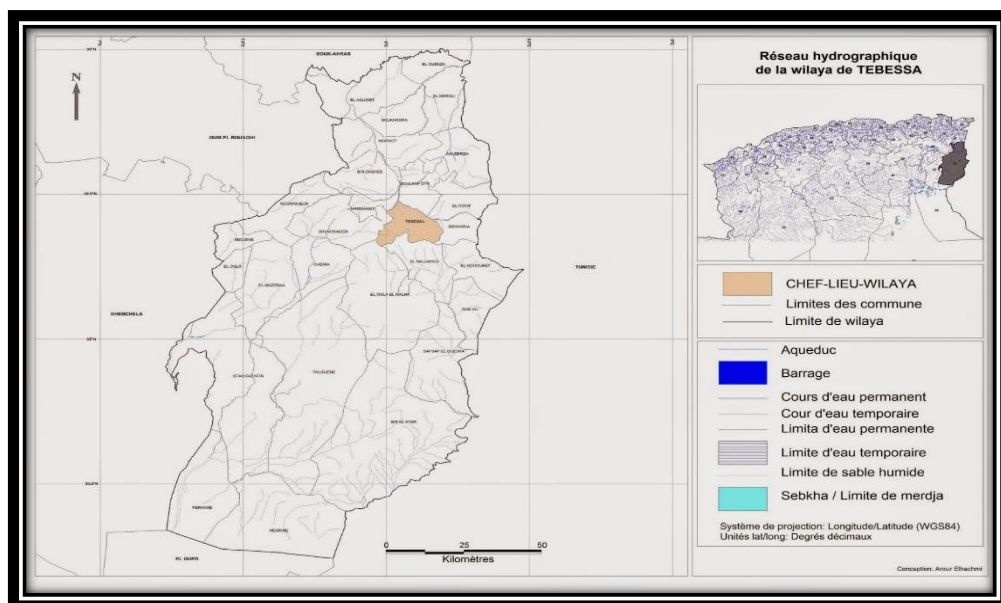


Figure 37: La carte géographique de la wilaya de tébessa, *Source* (Découpage administratif de l'Algérie & Monographie/2020)

3) Climat de Tébessa :

A- Aspect climatologique :

La wilaya de Tébessa est une zone de transition météorologique qui se distingue par 04 étages bioclimatiques :

Le subhumide : (400-500mm/an), peu étendu, il ne couvre que quelques îlots limités aux sommets de quelques reliefs, Djebel serdies et djebel bouroumane,

Le semi-aride (300 à 400 mm/an) représenté par les sous étages frais et froids, couvre toute la partie nord de la wilaya,

Le Sub-aride (200 à 300 mm/an) couvre les plateaux steppiques de Oum Ali, Safsaf El Ouesra, thlidjen et Bir El Ater.

L'aride ou Saharien, doux (-200mm/an), commence et s'étend au-delà de l'Atlas Saharien et couvre les plateaux Sud de Negrine et de Ferkane. (Station météorologique Tébessa ,2014)

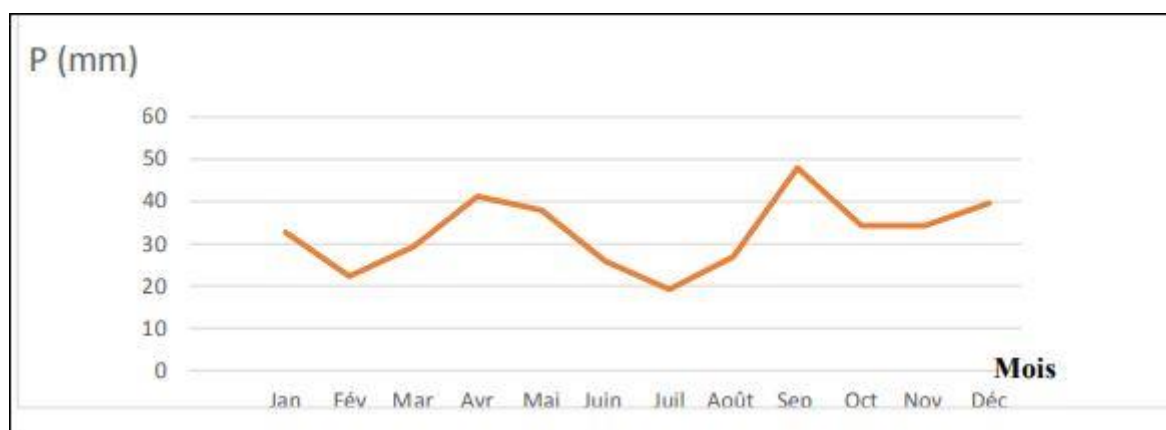
B- Climatologie de la région :

Les données climatologiques de la wilaya de Tébessa de la période 2000 à 2014 .La zone d'étude se caractérisent par un climat semi-aride, avec des étés chauds et secs et des hivers froids rigoureux. (Station météorologique Tébessa ,2014)

Mois	J an	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aao ut	Sep	Oct	Nov	Déc	MOY ENNE
P (mm)	32,7	22,3	29,3	41,2	37,9	25,9	19,2	26,9	47,9	34,3	34	39,6	32,6
T °c max	19,7	21,1	26,1	29,5	33,8	38,9	41,2	40,6	36,4	31,3	24, 9	21,0	30,3
T °c min	3,2 - -	2,7	1,6	2,0	5,3	9,4	13,7	13,9	9,9	5,3	1,2 -	2,1	4,2
T °c moy mensuell e	6,7	7,4	11,2	14,6	19,0	24,1	27,6	26,8	22,0	18,2	11, 9	7,9	16,4
Humidit é moyenne mensuell e %	74,5	70,0	65,1	62,4	58,5	49,2	43,3	46,3	63,6	63,4	69, 9	73,0	61,6

Tableau 3 : Moyennes des précipitations, des températures et de l'humidité sur 18 ans*Source :* (station météorologique Tébessa ,2018 readapté par auteur 2020)**a- Pluviométrie :**

La zone d'étude a reçu une moyenne sur 15 ans (2000-20118) de 391,5 mm de pluie par an. Les précipitations sont relativement faibles. Elles varient entre 200 et 600 mm. La saison sèche est pratiquement la saison d'été : Juin, Juillet et Août avec une exception aussi pour le mois de Février des années 2000, 2002, 2004, 2008 et 2010.

**Figure 38:** graphe de la moyenne mensuelle des précipitations sur 18 ans. Période 2000 à 2018*Source :* (Station météorologique Tébessa ,2018)

Les années pluvieuses des 15 dernières années (2000-2014) sont 2002, 2003, 2004, 2005, 2009 et 2011, où la pluviométrie a dépassé les 400 mm. Les années de sécheresse sont 2001, 2006 et 2013 respectivement avec une pluviométrie annuelle de 217,5 mm, 282,6 mm et 292 mm. (Station météorologique Tébessa ,2018)

b- Températures :

Le tableau révèle que la saison froide s'étale de Janvier à Avril et de Novembre à Décembre soit 06 Mois de froid dans l'année avec des piques des minimas de - 3,2 °C observés au Mois de Janvier. La saison chaude s'étale de Mai à Octobre avec des températures élevées aux Mois de juillet et Août, avec des piques de plus de 27,6 °C. (Station météorologique Tébessa ,2018)

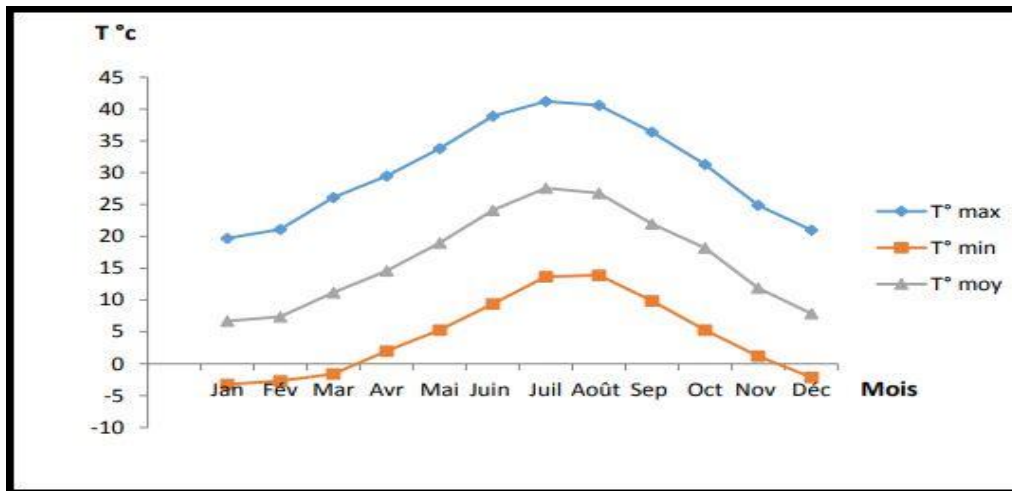


Figure 39: Graphe des variations mensuelles des températures maximales, moyennes et minimales sur 18 ans. Période 2000 à 2018 **Source :** (Station météorologique Tébessa ,2018)

c- Humidité :

Il va de soi que plus la température n'augmente, l'hygrométrie de l'air descend. C'est pour cette raison que la saison froide enregistre des taux d'humidité en conséquence. (Station météorologique Tébessa ,2014)

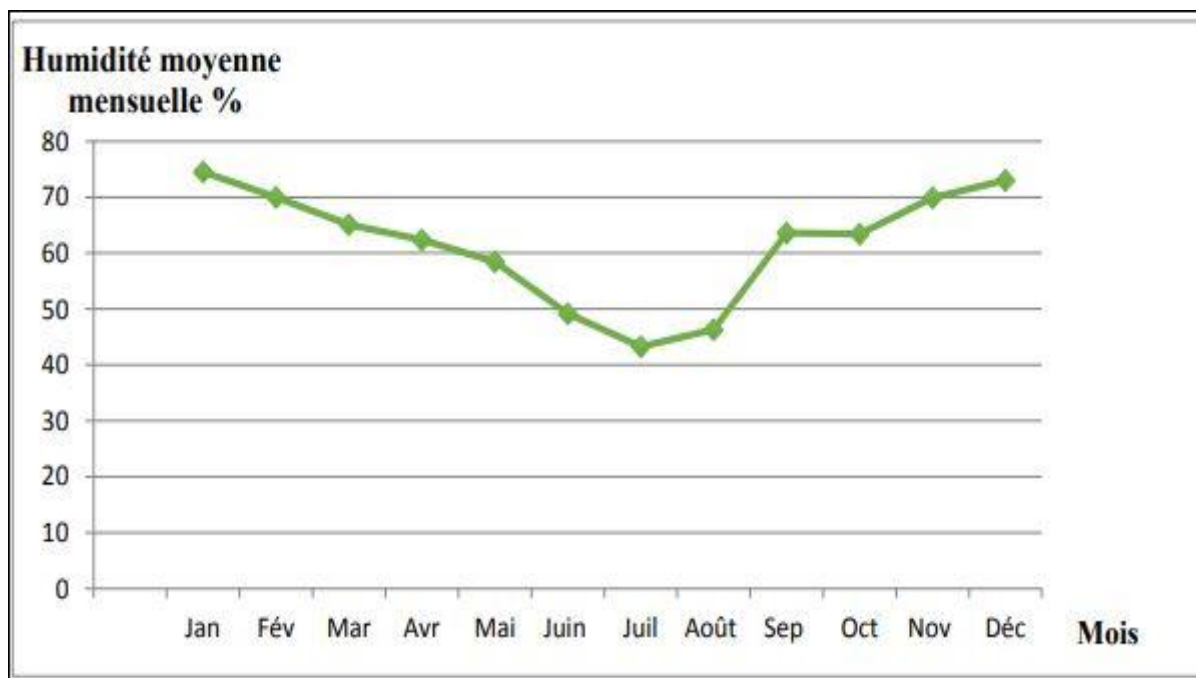


Figure 40: Graphe d'Humidité moyenne mensuelle sur 18 ans. Période 2000 à 2018

Source : (Station météorologique Tébessa ,2018)

d- Néige : Les mois de Janvier, Février, Mars, Avril et Décembre sont la période où la neige est fréquente. **Source :** (Station météorologique Tébessa ,2014)

MOIS	JAN	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
jour	0.6	0.8	0.2	0.60	0	0	0	0	0	0	0	0.6

Tableau 4 : Moyennes mensuelles de nombre de jours de neige sur 18 ans. Période 2000 à 2018,

Source : (Station météorologique Tébessa ,2018 readapté par auteur 2020)

e- Gelées :

Les mois de Novembre à Avril représentent la période où les gelées sont fréquentes. Les gelées sont un facteur limitant pour la végétation. Les gelées tardives peuvent causer des dégâts importants sur la période de floraison des plantes notamment l'arboriculture. (Station météorologique Tébessa ,2014)

MOIS	JAN	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
jour	15	12	8	4	1	0	0	0	0	0	5	12

Tableau 5: Moyennes mensuelles de nombre de jours de neige sur 15 ans. Période 2000 à 2014

Source : (Station météorologique Tébessa ,2018, réadapté par auteur 2020)

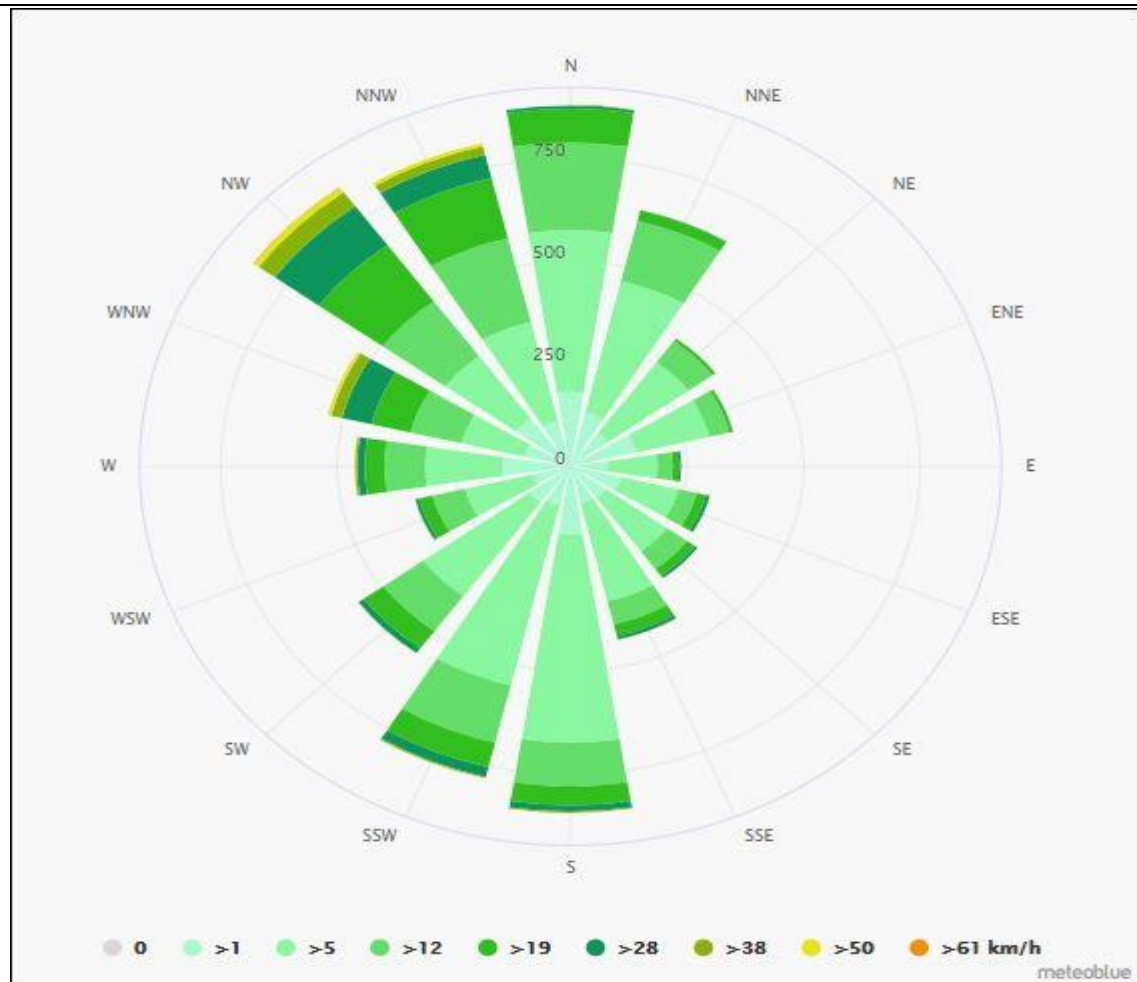
Moyennes mensuelles de nombre de jours de neige sur 15 ans. Période 2000 à 2014 **Source :** (Station météorologique Tébessa ,2014)

f- Vents :

La zone d'étude reçoit dans la majorité du temps des vents modérés qui soufflent du : Ouest – Nord – Ouest de Novembre à avril et des vents du Sud plus significatifs de Mai à Juillet. Le sirocco, vent très chaud et sec, présente un caractère agressif .Il se manifeste en moyenne pendant 10 à 15 jours par an, notamment au cours du mois de juillet et d'août et quelques fois même durant le printemps entre avril et juin. La vitesse maximale prédominante est celle de la classe 6 à 10 m/s. (Station météorologique Tébessa ,2014)

	J an	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aao ut	Sep	Oct	No v	Déc	Total
1_5	1,05	1,18	1,16	1,27	1,58	1,52	1,55	1,35	1,36	1,17	1,30	2,18	16,67
6_10	1,79	1,76	2,50	2,34	2,31	1,72	2,02	1,44	1,08	1,37	1,45	1,37	21,15
11_15	0,76	0,75	1,03	0,55	0,27	0,72	0,14	0,00	1,14	0,18	0,39	0,26	6,19
16_20	0,13	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,36
>= 20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02
Total	3,7	3,7	4,9	4,2	4,2	4,0	3,7	2,8	3,6	2,7	3,1	3,8	44,4

Tableau 6 : des fréquences des vents : Année 2014 **Source :** (Station météorologique Tébessa ,2018)



III- Présentation du cas d'étude :

1- Analyse de terrain :

le terrain de notre cas d'étude est situé dans le POS 01 au centre de la ville de tebessa d'une proximité de 200 m de l'Intramuros, il est parmi les plus anciens quartiers d'habitat individuelle de Tebessa.

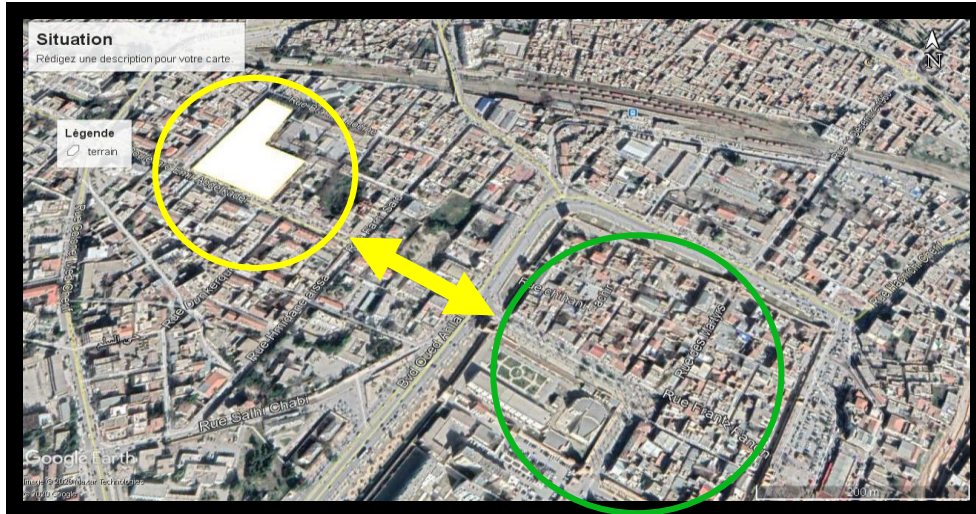


Figure 42: Plan de situation du cas d'étude Source (Google Earth 2020)

- A- Critères de choix de terrain :** Le choix de terrain est fait à partir de sa position stratégique qui est entourée par des quartiers résidentiels, une vaste surface qui assure un avantage pour l'emplacement du groupe scolaire et suffisante pour les futures extensions.
- B- Accessibilité :** Le terrain est suffisamment accessible car il occupe un îlot de 4 façades

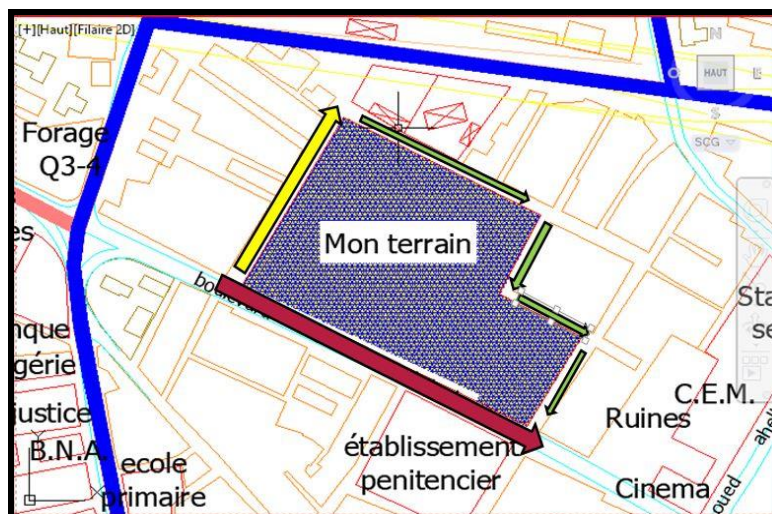


Figure 43 :Schéma d'accessibilité de terrain, source (auteur 2019)

- C- Servitudes et contrainte :** on aura comme servitude et contrainte la RN10 ,la ligne MT d'une proximité de mon terrain de 100 m de distance .
- D- Environnement immédiat :** le terrain est entouré par différents types d'équipements nécessaires Des équipements éducatifs Cités résidentielles Équipements administratifs Équipements de justices
- E- Morphologie et superficie :** Le terrain étudié a une forme régulière d'une superficie de 2.8m².

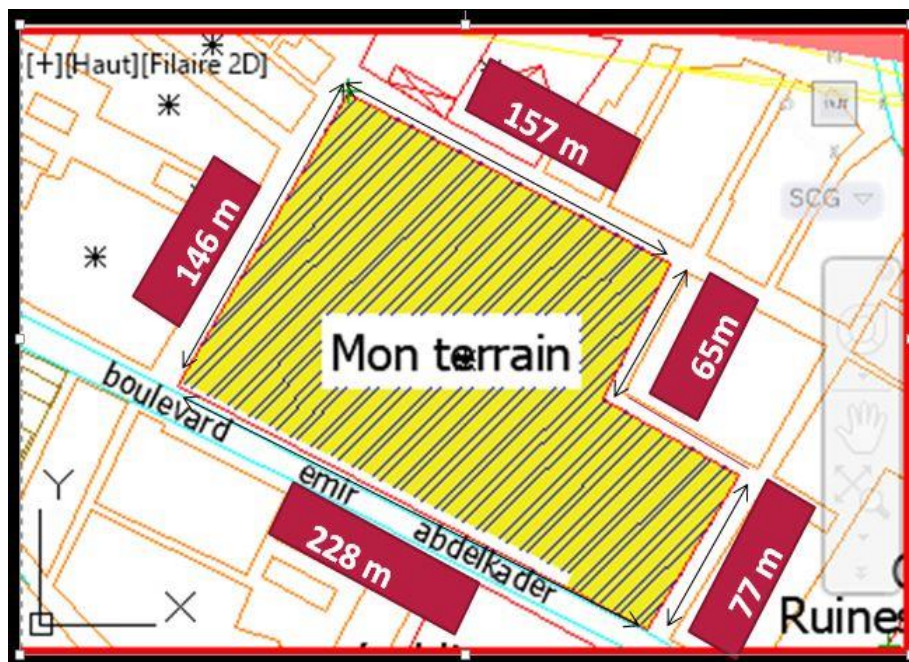


Figure 44: Schéma de morphologie et limites de terrain de terrain, source (auteur 2019)

- F- Relief:** Le terrain est presque plat car il a une faible pente ce qu'il fail une avantage pour l'exécution de notre projet.

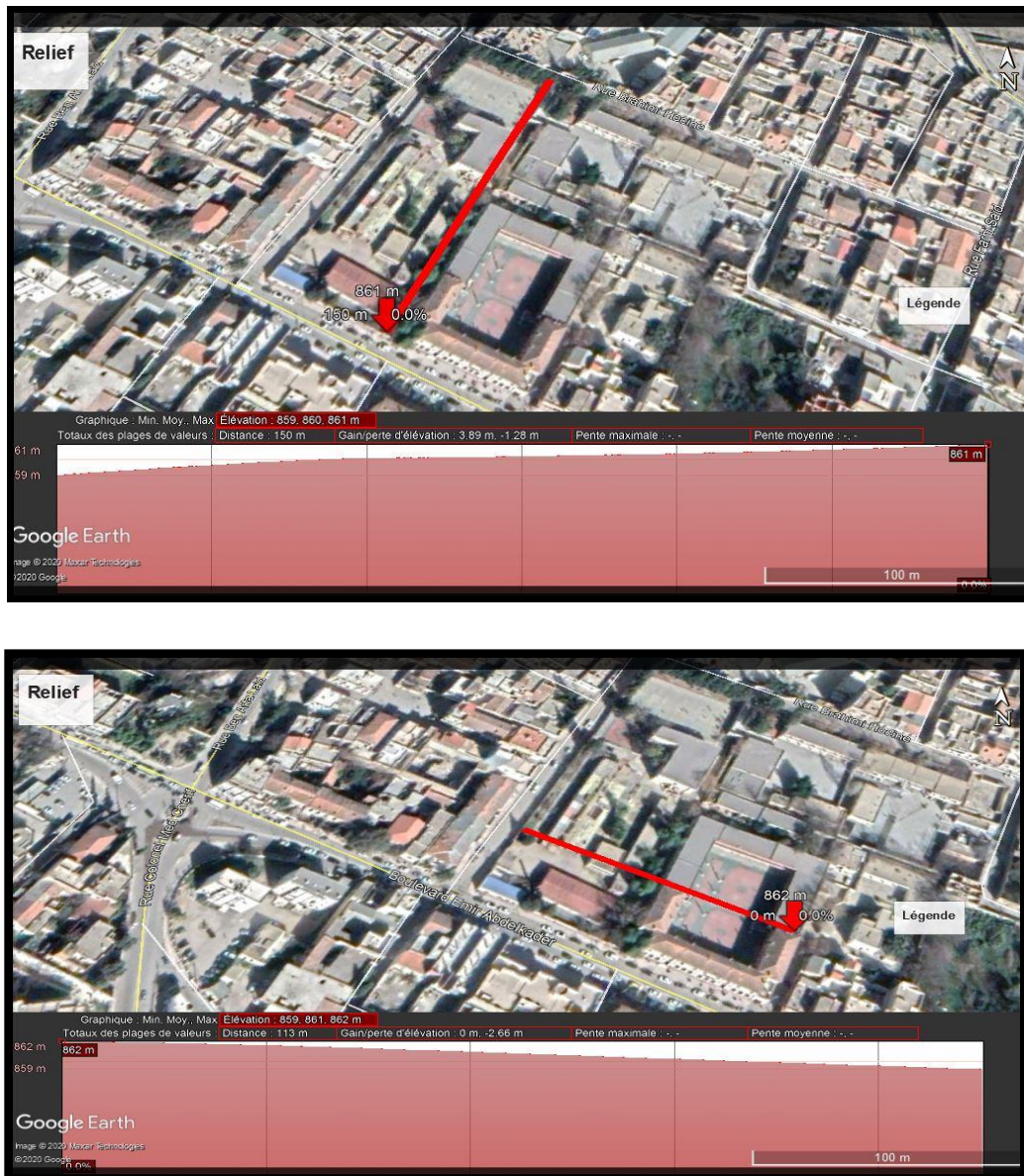


Figure 45: Coupes topographique, Source (Google earth 2019)

2- Programme du Groupe scolaire : Le groupe se compose de trois équipements nécessaires

A- L'école primaire :

Espaces		Surface unitaire (m²)	Nombre	Surface totale (m²)
LOCAUX PEDAGOGIQUES	S. De classes	60	12	720 (m ²)
	Laboratoire Des sciences	50	2	100 (m ²)
	Labo de Physique	50	2	100 (m ²)
	Dépôt	12	1	12 (m ²)
	A, de dessin	56	1	56 (m ²)
	A, de musique	48	1	48 (m ²)
	La bibliothèque	60	1	60 (m ²)
S, polyvalente	80	1	80 (m ²)	
Sanitaires	1,5	24	36 (m ²)	
Circulation 20%				240 (m²)
TOTALE				1440 (m²)

Administration	B directeur	24	1	24 (m ²)
	B de secrétaire	12	1	12 (m ²)
	B, de l'économe	16	1	16 (m ²)
	Salle des enseignants	48	1	48 (m ²)
	Salle d'attente	24	1	24 (m ²)
	Archive	16	1	16 (m ²)
Circulation 20%				28 (m²)
TOTALE				168 (m²)

Education physique	Terrain de sport	880	1	880 (m ²)
	Vestiaire	16	2	32 (m ²)
	Sanitaire	16	2	15 (m ²)
	Local de matériel	24		24 (m ²)
	Salle de soin	24	1	24 (m ²)
Circulation 20%				195 (m²)
TOTALE				1170 (m²)

RESTAURATION	Cantine	100	1	100 (m ²)
	La cuisine	50	1	50 (m ²)
	Dépôt	16	1	16 (m ²)
	Chambre froide	12	1	12 (m ²)
	vestiaire	16	1	16 (m ²)
	Sanitaire	16	2	32 (m ²)
Circulation 20%				45 (m²)
TOTALE				270 (m²)
Les Locaux techniques	chaufferie	12	1	12 (m ²)
	Salle d'entretien	16	1	16 (m ²)
	Local matériel	16	1	16 (m ²)
Cour de récréation				720 (m²)
TOTAL	Surface totale de l'école primaire			3812 (m²)

Figure 46: programme retenu de l'école primaire, Source auteur (2020)

B- Le Collège d'enseignement moyen :

Espaces		Surface unitaire	Nombre	Surface totale (m²)
LOCAUX PEDAGOGIQUE	S. Des classes	60	16	960 (m ²)
	Laboratoire Des sciences	50	2	100 (m ²)
	Laboratoire de Physique	50	2	100 (m ²)
	Salle his/geo.	65	1	65 (m ²)
	A, de dessin	65	1	65 (m ²)
	Auditorium	120	1	120 (m ²)
	A, de musique	65	1	65 (m ²)
	S, D'informatique	75	1	75 (m ²)
	Sanitaires	1,5	20*2	30 (m ²)

Circulation 20%				316 (m²)
TOTALE				1896 M²
Administration	B directeur	24	1	24 (m ²)
	B de secrétaire	12	1	12 (m ²)
	B, de l'économe	16	1	16 (m ²)
	Salle des enseignants	48	1	48 (m ²)
	Salle d'attente	24	1	24 (m ²)
	Archive	16	1	16 (m ²)
Circulation 20%				28 (m²)
TOTALE				168 (m²)

Surveillance	B de surveillant générale	24	1	24 (m ²)
	B de adjoint d'éducation	12	3	36 (m ²)
	Salle d'attente	24	1	24 (m ²)
	archive	16	1	16 (m ²)
	sanitaire	1,5	4	6 (m ²)
Circulation 20%				21,2 (m²)
TOTALE				127,2 (m²)

- La bibliothèque	Salle de lecture	75	1	75 (m ²)
	rayonnage	48	1	48 (m ²)
	Salle polyvalente	120	1	120 (m ²)
Education physique	Terrain de sport	830	1	830 (m ²)
	Salle de sport	480	1	480 (m ²)
	Vestiaire	16	2	32 (m ²)
	Sanitaire	16	2	15 (m ²)
	Local de matériel	24		24 (m ²)
Circulation 20%	/	/	/	279,6 (m²)
TOTALE				1677,6 (m²)

Le réfectoire	cantine	220	1	220 (m ²)
	La cuisine	50	1	50 (m ²)
	Dépôt	16	1	16 (m ²)
	Chambre froide	12	1	12 (m ²)
	vestiaire	16	1	16 (m ²)
	Sanitaire	16	2	32 (m ²)
	<u>moussalla</u>	40	1	40(m ²)
Circulation 20%	/	/	/	67,2 (m²)
La cour de récréation	/	/	/	800 (m ²)
Les Locaux techniques	chaufferie	20	1	20 (m ²)
	Salle d'entretient	16	1	16 (m ²)
	Local matériel	16	1	16
TOTAL	Surface totale du collège			5366,4 (m²)

Figure 47: Programme retenu de l'école d'enseignement moyen, Source (auteur 2020)

C- Le lycée :

Espaces		Surface unitaire	Nombre	Surface totale (m ²)
LOCAUX PEDAGOGIQUE	S. Des classes	60	20	1200 (m ²)
	Laboratoire Des sciences	50	2	100 (m ²)
	Laboratoire de Physique	50	2	100 (m ²)
	S.de préparation	15	1	15 (m ²)
	Dépôt	12	1	12 (m ²)
	A, de dessin	65	1	65 (m ²)
	Auditorium	160	1	160 (m ²)
	A, de musique	65	1	65 (m ²)
	S, D'informatique	75	1	75 (m ²)
Sanitaires	1,5	20*2	30 (m ²)	

Circulation 20%				363,8
TOTALE				2182,8 M ²
Administration	B directeur	24	1	24 (m ²)
	B de secrétaire	12	1	12 (m ²)
	B de Conseiller	24	1	24 (m ²)
	B, de l'économe	16	1	16 (m ²)
	Salle des enseignants	48	1	48 (m ²)
	Salle d'attente	24	1	24 (m ²)
	Archive	16	1	16 (m ²)
Circulation 20%				30 (m ²)
TOTALE				188 (m ²)

Surveillance	B de surveillant générale	24	1	24 (m ²)
	B de adjoint d'éducation	12	3	36 (m ²)
	Salle d'attente	24	1	24 (m ²)
	archive	16	1	16 (m ²)
	sanitaire	1,5	4	6 (m ²)
Circulation 20%				21,2 (m ²)
TOTALE				127,2 (m ²)

- La bibliothèque	Salle de lecture rayonnage	96	1	96 (m ²)
		48	1	48 (m ²)
	Salle polyvalente	120	1	120 (m ²)
Education physique	Terrain de sport	1280	1	1280 (m ²)
	Salle de sport	480	1	480 (m ²)
	Vestiaire	16	2	32 (m ²)
	Sanitaire	16	2	15 (m ²)
	Local de matériel	24		24 (m ²)
Circulation 20%	/	/	/	366 (m ²)
TOTALE				2197 (m ²)

La cour de récréation	/	/	/	1000 (m ²)
	chaufferie	20	1	20 (m ²)
Les Locaux techniques	Salle d'entretien	16	1	16 (m ²)
	Local matériel	16	1	16
TOTAL	Surface totale du lycée			6306,2 (m²)
TOTALE	Surface totale du groupe scolaire est :			15484,6 (m²)

Figure 48: programme retenu du lycée et du groupe scolaire total . Source (auteur 2020)

3- Les pièces graphiques du projet :

1- Les plans architecturaux :

a- Le lycée :



Figure 49: plans architecturaux du lycée rdc + étage 1 Source (auteur2020)



Figure 50: plan architectural du lycée étage, Source (auteur2020)

b- L'école d'enseignement moyen :



Figure 51:: plans architecturaux du CEM rdc + étage 1, Source (auteur2020)

c- L'école primaire



Figure 52: plans architecturaux de l'école primaire rdc + étage 1 Source (auteur2020)

d- Le plan d'ensemble :

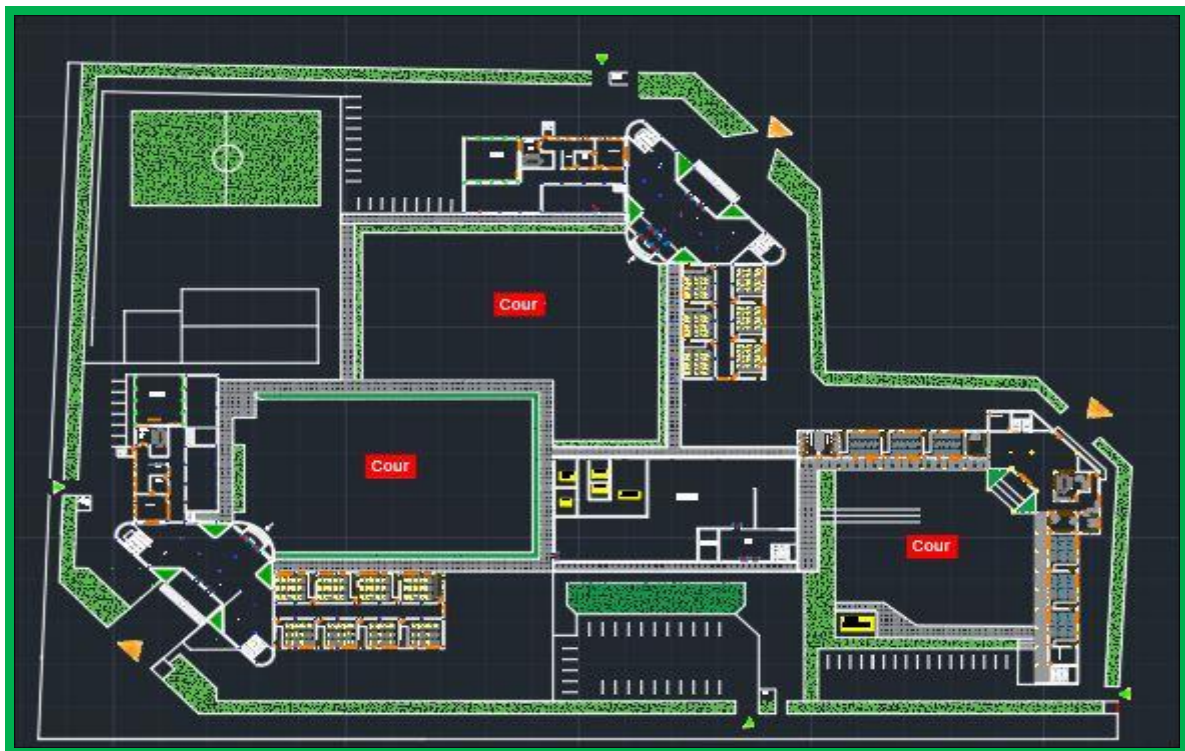


Figure 53: Plan d'ensemble du groupe scolaire Source (auteur2020)

IV- La création du modèle :

L'évaluation du climat à l'échelle locale au moyen de simulation numérique est devenue un sujet de tendance car il offre aux concepteurs une vision préalable ses projet après leur execution

La présente recherche ayant trait à l'impact de la végétation sur le microclimat à travers un travail sur un groupe scolaire, qui sera notre modèle d'échantillon qui répond aux critères de cette étude. La démarche pratique de ce travail sera fait sur la base d'une simulation numérique sur un groupe scolaire, où on va prendre deux cas, le terrain tel qu'il est, et le terrain avec un aménagement de couverture végétale proposé au niveau de cours de récréation et à l'extrémité du terrain dans le but d'évaluer les caractéristiques climatique de ce terrain à travers la végétation. (l'absence et la présence de couverture végétale),

Pour faire une simulation par l'ENVI-met, il faut passer par les étapes suivantes

1- L'architecture du model :

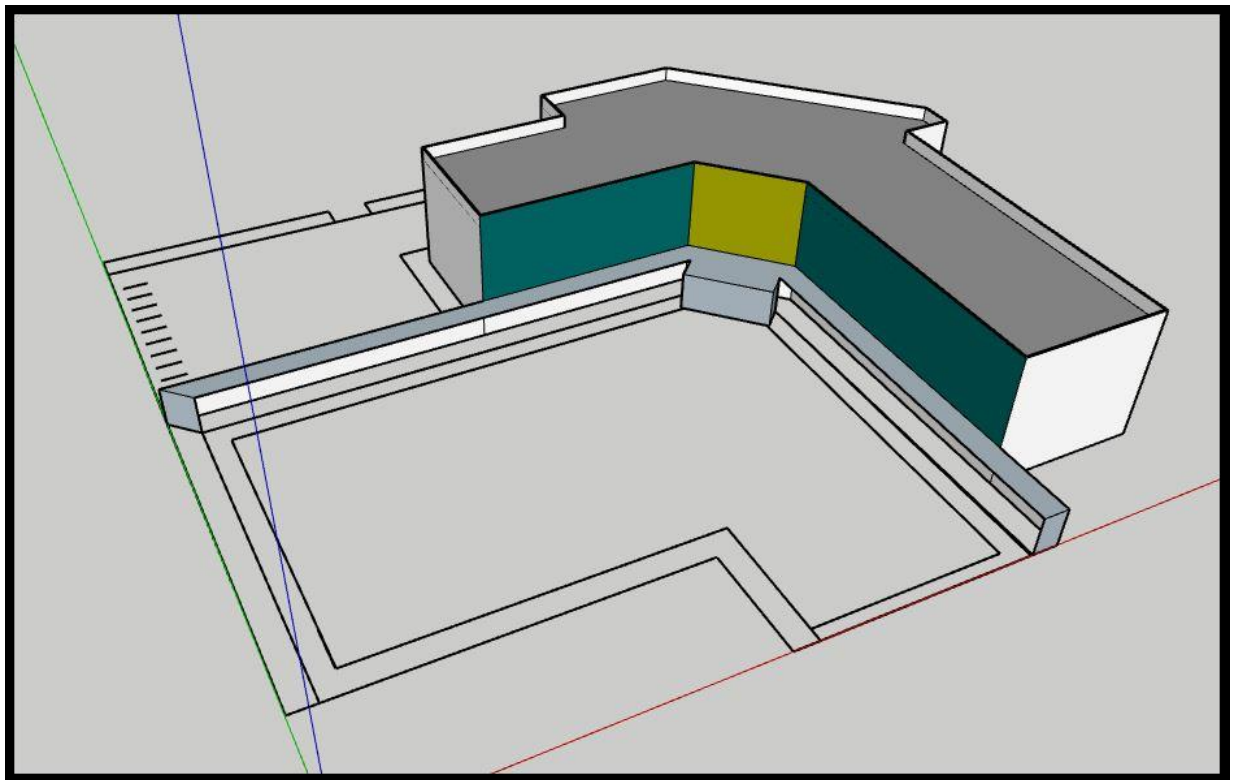


Figure 54 : Modél de simulation de la cour de récréation Source (auteur2020)

- Ouvrir ENVI-met Headquarter, data and setting, manage projects and workspaces, donc j'ai créé 2 Workspace (un sans aménagement et l'autre avec aménagement). (Figure 6.1)

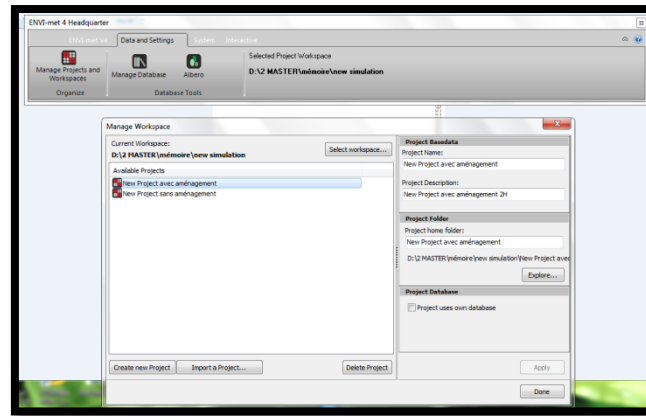


Figure 55: L'interface d'ENVI-met Headquarter, Source (Auteur 2020)

- Ouvrir spaces, Digitize, Select bitmap (importer l'image du terrain à simuler du format 'bmp' parce que ce logiciel n'accepte qu'un fichier d'extension 'bmp'. Pour cela j'ai converti le fichier Autocad du terrain à l'Archicad pour l'enregistrer sous forme bmp). (Figure 55)

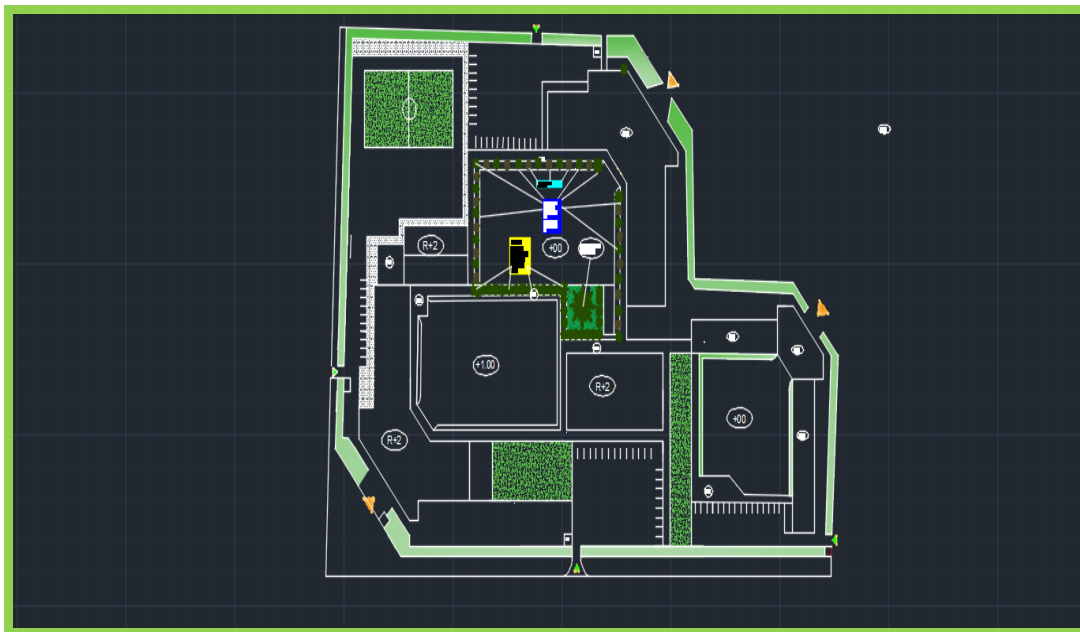


Figure 56: Le plan du terrain étudié 'bpm', Source Auteur (2020)

2- Données d'entrée (Inputs)

Fichier Editeur (*.in) : Programme qui permet d'introduire la structure urbaine dans le logiciel. Il se présente sous forme d'une surface de dessin qu'on peut délimiter en fonction du model qu'on veut simuler.

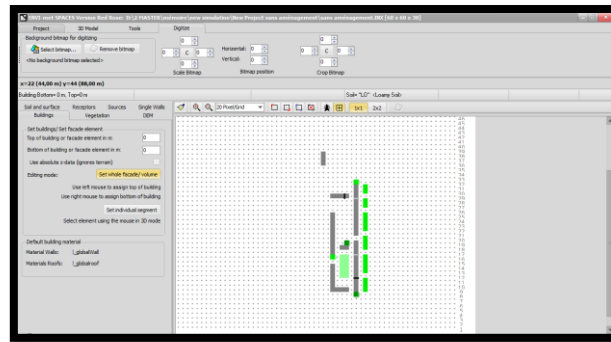


Figure 57: Fichier éditeur du terrain étudié [ENVI-met 4.0], Source (Hauteur 2020)

Il contient la définition de :

❖ Editeur construction/végétation

Grâce à cet éditeur on peut projeter les constructions en déterminant leurs hauteurs ainsi que tous les éléments saillants. La sélection et la projection des différents types de plantes existantes.

Pour Envi-met les plantes ne sont pas de simples obstacles physiques face au vent et aux radiations solaires. Se sont des corps biologiques qui interagissent avec l'environnement par des échanges thermiques et évaporatifs.

La végétation est schématisée comme une colonne en 1D avec une hauteur Z_p , la profondeur des racines est Z_r . Chaque colonne est composée de 10 espacements égaux, de même pour les racines.

Pour chaque calque correspondent une densité de la surface foliaire (LAD) et la densité de la surface des racines (RAD). Cette décomposition est employée pour chaque type de végétation rangeant de l'herbe aux grands arbres. D'autres paramètres physiologiques comme la résistance des stomates, la nature des plantes (caduques où persistantes), l'albédo des feuilles, l'émissivité est constante [Ali-Toudert 2005].

Toutes ces données sont stockées dans un fichier donné PLANTS.DAT. (Figure 6.4)

The image shows a text-based data file with multiple columns. The columns are labeled as follows: ID, CO2, rs_min, a_f, HH.HH, TT.TT, LAD1, LAD10, RAD1, RAD10, and NAME. The data rows contain numerical values for each of these parameters for various plant species.

Figure 58: Modèle d'un fichier de données de base de végétation [Envi-met 4.0], Source (auteur 2020)

La Figure 58 recense les données de base des espèces de végétation contenues dans le model Envi-met 4.0

ID: Référence propre à chaque espèce. Ces ID sont utiles pour Envi-met pour ne pas confondre la végétation avec les constructions.

C?: Définition de la plante en fonction de la capacité de fixation du CO₂.

TY: Type de plante, 01 pour caduque, 02 pour les conifères et 03 pour les herbes.

rs_min: Résistance minimale des stomates : Considérée 400 pour les arbres et 200 pour herbe.

a_f: Albédo de la feuille considéré 0.2 (peut être modifié s'il s'agit des types bien spécifiques)

HH.HH: La hauteur de la plante.

TT.TT: Profondeur des racines.

LAD1 et LAD10: La densité de la surface de la feuille en m²/m² de LAD1 jusqu'à LAD10.

RAD1 et RAD10: La densité de la surface des racines m²/m² de RAD1 jusqu'à RAD10.

Pour LAD1 et RAD1 $Z/H = 0.1$ jusqu'à $Z/H = 1$ (LAD10 et RAD10) où Z est la hauteur du LAD et où RAD et H est la hauteur de la plante où la profondeur des racines.

NAME : Donne un nom à la plante.

- ❖ **Sol :** La sélection du type de sol est similaire aux plantes, toutes les propriétés des sols sont définies dans un fichier d'entrée : PROFILES.DAT (Figure)

ID	V	ns	nfc	nwilt	matpot	hydr	CP	b	HCN	Name
00	0	0.451	0.240	0.111	-0.478	7.0	1.217	5.39	0.00	Reddish Silt (Lean)
0d	0	0.305	0.133	0.0068	0.121	176.0	1.463	4.05	0.00	Sand
1a	0	0.440	0.150	0.071	-0.090	116.2	1.404	4.29	0.00	Leamy Sand
07	0	0.435	0.195	0.114	-0.218	34.1	1.320	4.99	0.00	Sandy Loam
07	0	0.465	0.255	0.179	-0.786	7.2	1.271	5.20	0.00	Silt Loam
1e	0	0.451	0.240	0.111	-0.478	7.0	1.217	5.39	0.00	Loam
ts	0	0.420	0.253	0.173	0.290	6.3	1.173	7.12	0.00	Sandy Clay Loam
tl	0	0.477	0.322	0.210	-0.356	1.7	1.317	7.75	0.00	Silty Clay Loam
1t	0	0.476	0.325	0.250	-0.620	2.5	1.223	8.52	0.00	Clay Loam
0t	0	0.428	0.310	0.219	-0.133	2.2	1.175	10.40	0.00	Sandy Clay
ts	0	0.492	0.370	0.282	0.490	1.0	1.130	10.40	0.00	Silty Clay
tu	0	0.487	0.367	0.266	-0.405	1.3	1.069	11.40	0.00	Clay
tl	0	0.865	0.500	0.395	0.356	8.0	0.836	7.75	0.00	peat
cb	1	0.00	0.000	0.000	0.00	0.0	2.062	0.00	1.52	Cement Concrete
cb	1	0.00	0.000	0.000	0.00	0.0	1.750	0.00	2.39	Mineral Concrete
as	1	0.00	0.000	0.000	0.00	0.0	3.234	0.00	1.16	Asphalt (with Gravel)
as	1	0.00	0.000	0.000	0.00	0.0	2.717	0.00	0.90	Asphalt (with Resalt)
gr	1	0.00	0.000	0.000	0.00	0.0	2.345	0.00	4.81	Granite
ba	1	0.00	0.000	0.000	0.00	0.0	2.386	0.00	1.73	Basalt
aw	2	0.00	0.000	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.00	Water

Figure 59: Modèle d'un fichier de données de base pour sol [Envi-met 4.0], Source (auteur 2020)

La (Figure 6.5) résume les différents types de sols inclus dans cette version d'Envi-met 4.0 :

ID : Ces deux lettres relient le sol aux données du fichier PROFILES.DAT

V : Type de sol, 0: Pour un sol normal, 1: matériaux étanche (aucun échange d'eau), 2: eau profonde.

ns : Volume d'eau de saturation [m^3m^{-3}]

nfc : Volume d'eau contenu dans le champs de capacité en [m^3m^{-3}]

nwilt : Le volume d'eau pour le point de rosé (pour les modèles avec végétation) [m^3m^{-3}]

matpot : Matrice du Potentiel de saturation en [m]

hydr : Conductivité hydraulique pour le point de saturation.

CP : Volume de la capacité thermique.

b : Constante de Clapp et Hornberger

HCN : Conductivité thermique du matériau [$Wm^{-1}K^{-1}$]

Name : Nom donné pour identification.

- ❖ **Sources** : Définir les différentes sources qui se trouvent tel que : "CO", "CO2", "NO", "NO2", "SO2", "NH3", "H2O2".
- ❖ **Récepteur** : Envi-met peut projeter jusqu'a 100 récepteurs. Se sont des points qui donnent les paramètres d'un point à l'intérieur du model simulé de $Z=0$ jusqu'à Z max.

Donc, je redessine le terrain avec toutes les données [le quartier actuel (Figure 6.6)], [le quartier avec aménagement proposé ..

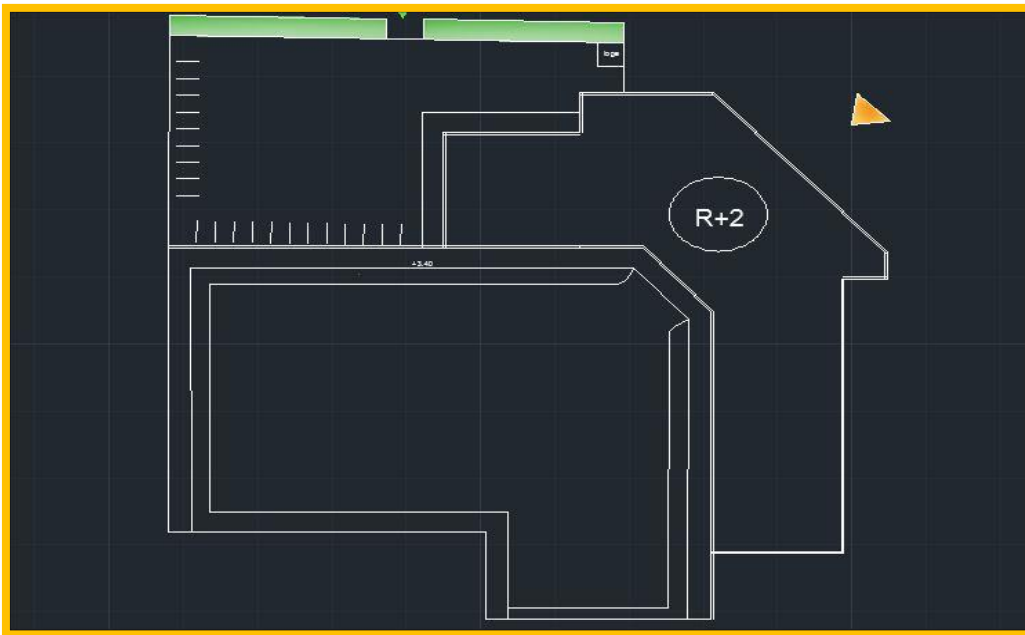


Figure 60 : Schéma 2D et 3D du terrain étudié à l'état actuel avec toutes les données [ENVI-met 4.0] (Hauteur 2020)

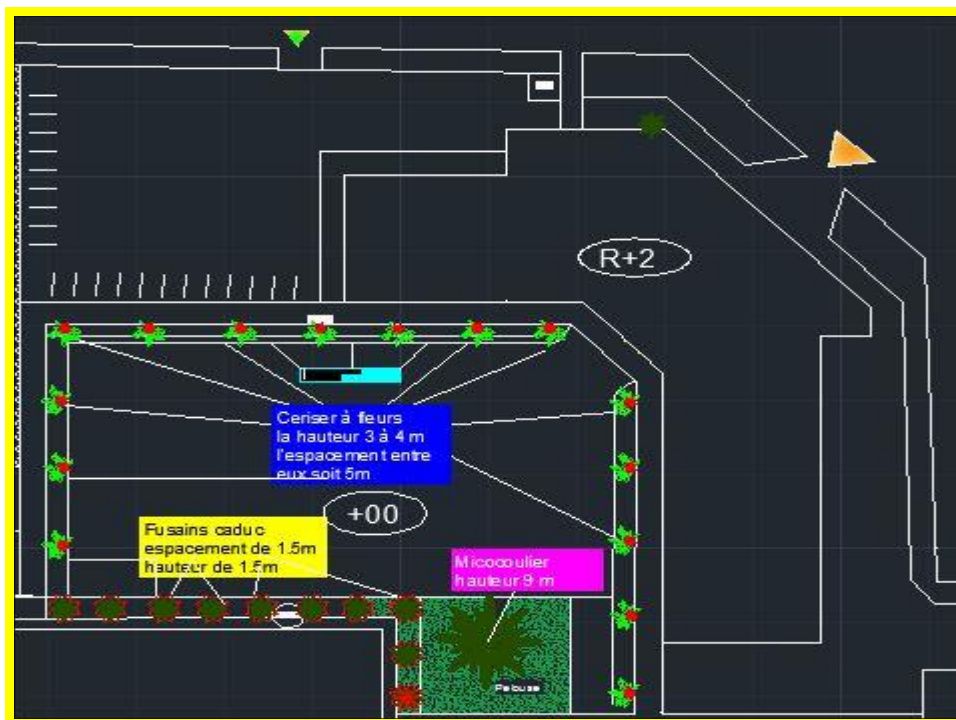


Figure 61 : Schéma 2D avec aménagement proposé avec toutes les données [ENVI-met 4.0] (Hauteur 2020)

3- Fichiers de configurations C.F (*.cf)

Ce sont des fichiers textes qui décrivent les caractéristiques principales de la simulation :

- Nom de la simulation.
- Noms des fichiers entrées/sorties.
- La date et la durée de la simulation, l'intervalle de temps.

- Les paramètres climatiques : Température atmosphérique initiale, humidité spécifique, humidité relative.
- Adresse du fichier des données PLANTS.DAT
- Données propres à l'espace urbain simulé: La position (longitude, latitude), L'intervalle du temps pour la mise à jour des paramètres microclimatiques, Turbulence, Caractéristiques physiques des constructions, Caractéristiques physiques du sol.

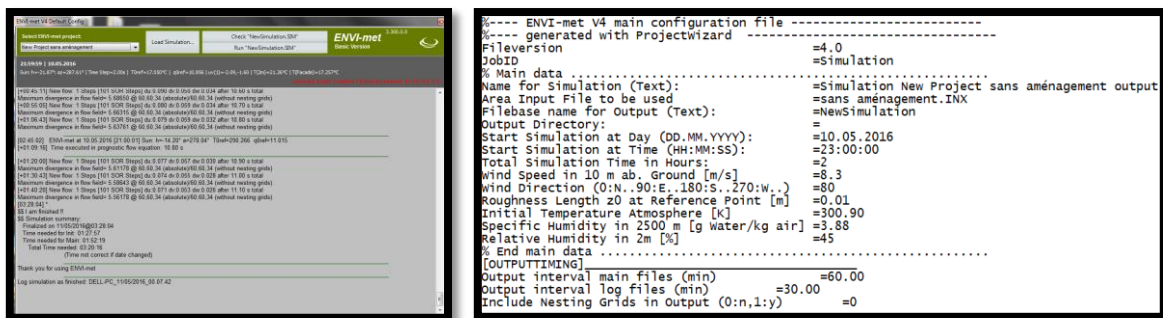


Figure 62 : Fichier de configuration du terrain étudié à l'état actuel [ENVI-met 4.0] (Hauteur 2020)

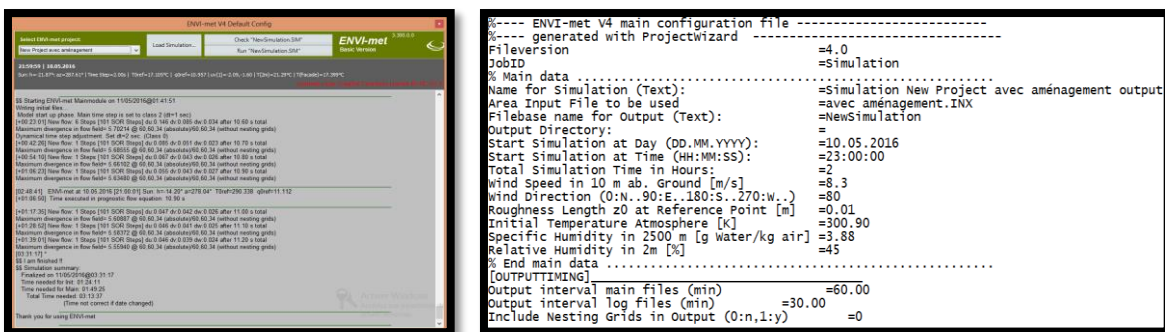


Figure 63: Fichier de configuration du terrain étudié avec aménagement proposé [ENVI-met 4.0] (Hauteur 2020)

a) Les sorties (Outputs) :

Envi-met peut générer une multitude de paramètres sous plusieurs répertoires les plus importants sont :

b) Fichier de sortie en 3D :

Il contient les fichiers atmosphère, surface et sol. Les résultats sont stockés sous un format binaire. Dans ce travail ils sont visualisés grâce à un autre logiciel LEONARDO.

c) Fichier des récepteurs :

Ces fichiers permettent la définition des récepteurs à l'intérieur du model et de les voir de plus en plus en détail. Se sont de simples fichiers qui peuvent être visualisés avec un simple programme tel qu'Excel, Bloc-notes et Wordpad.

e- 1D fichier model

Contient les données du profil vertical du model unidimensionnel d'Envi-met dans un format ASCII. Ces fichiers sont généralement utilisés pour la vérification et la résolution des problèmes qui peuvent figurer pendant la simulation (Bruse 2004)

Conclusion :

. La presente étude qui a présenté la Ville de Tébessa à l'aide d'une analyse climatologique de la Ville puis, une étude architecturale de notre cas d'étude ,nous a confirmé notre correcte choix du terrain pour concevoir un groupe scolaire.

Après avoir presenter notre caps etude on est. main tenant dans le parcours correct d'une simulation numérique.

CHAPITRE 05:

La Simulation numérique

1- Introduction:

Dans cette partie de la thèse une simulation a été effectuée dans le but de vérifier et de consolider les résultats obtenus lors de l'investigation, mais aussi pour mettre en évidence de nouveaux éléments qui pourraient apporter un plus dans notre recherche. Le logiciels utilisé est l' ENVI-MET qu'on a présenté précédemment, qui a fait ces preuves en ce qui concerne la simulation du microclimat urbain et l'étude des paramètres affectant le confort dans les espaces extérieurs en ville.

Dans notre cas d'étude, le paramètre étudié est la présence et la densité du couvert végétale (espacement) dans la cours d'une part et sa typologie d'une autre part, et afin de vérifier si la cours de récréation telle qu'elle est actuellement (non végétalisée) présente les conditions de confort optimales, ou pourrions nous améliorer encore plus le confort dans cette espace en ajoutant plusieurs types d'arbres et en changeant l'espacement entres eux à chaque fois.

Dans cette logique , différents scenarios présentent les même caractéristiques sont simulés en ayant comme seul différence la densité (ou la surface) de la vegetation émis autour de la cours de récréation en premier lieu, et la typologies des arbres du couvert végétal en deuxième. D'après une vue globale sur les études qui sont effectuées dans le domaine du confort thermique , on constate que les paramètres physiques les plus important à étudier sont la température de l'air, l'humidité relative, la vitesse du vent, la température de surface et le flux solaire incident. Dans notre cas seul les valeurs de la température de l'air, l'humidité relative, la vitesse du vent sont utilisées vue l'impossibilité de quantifier les valeurs des deux derniers paramètres, sans lesquelles on ne pourra comparer les valeurs simulées.

C'est pourquoi l'analyse sera qualitative, afin de vérifier les résultats et des scénarios choisis dans notre simulation numérique à travers l'Envi-met, en référant à l'apport théorique dans le chapitre 02 .

2- Présentation des scenarios :

Tout d'abord, la simulation est prise dans trois mois de l'année Janvier, Mars et Mai où on a pris un jour pour chaque mois , alors que les simulation sont prises dans les des recreation à 10 h du matin et à 13:00 h et 16:00 h d'après, on a pris deux modèle de simulation comme on a cité précédemment :

- Un model initial sans aménagement d'arbre (tel qu'il est.)
- Un modél aménagé de différents types d'arbres et d'arbustes .

Dan ce chemin on a obtenu les scenarios suivants :

A- Scénario 01 : représente le modèle initial où on a laissé la cours de récréation telle qu'elle est (sans aménagement) , les présentes figures montrent les temperature ptontielles del'air.

a- Cartes microclimatiques :

L'objectif de cette partie est de montrer les cartes de la distribution spatiale et temporelle de la temperature potentielle de l'air (obtenues par ENVI-met) du groupe scolaie étudié. Le plus fort écart entre les températures minimales et maximales est observé dans les heures de recreation des élèves les plus chaudes de la journée

- Mois de Janvier :

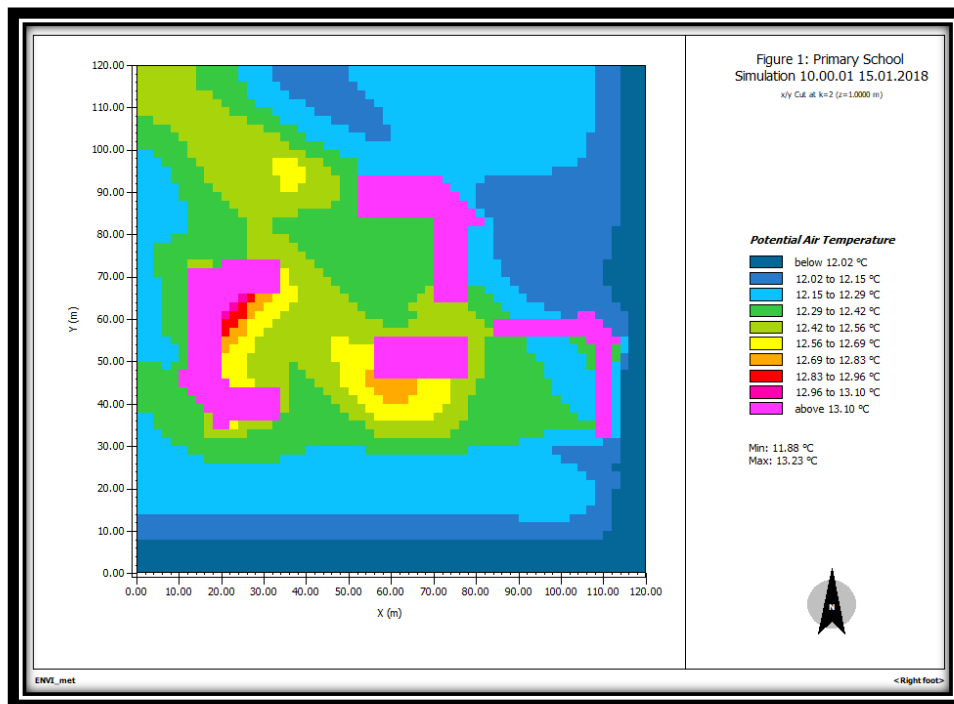


Figure 64 : Cartes de la température potentielle de l'air à 10:00 h. Source (auteur2020)

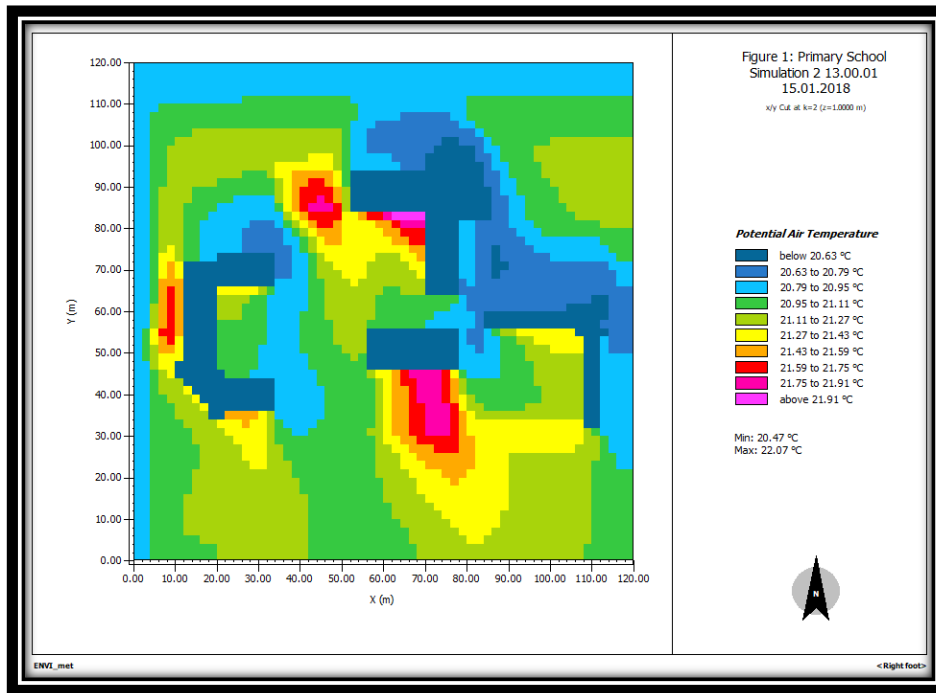


Figure 65: Cartes de la température potentielle de l'air à 13:00 h . Source (auteur2020)

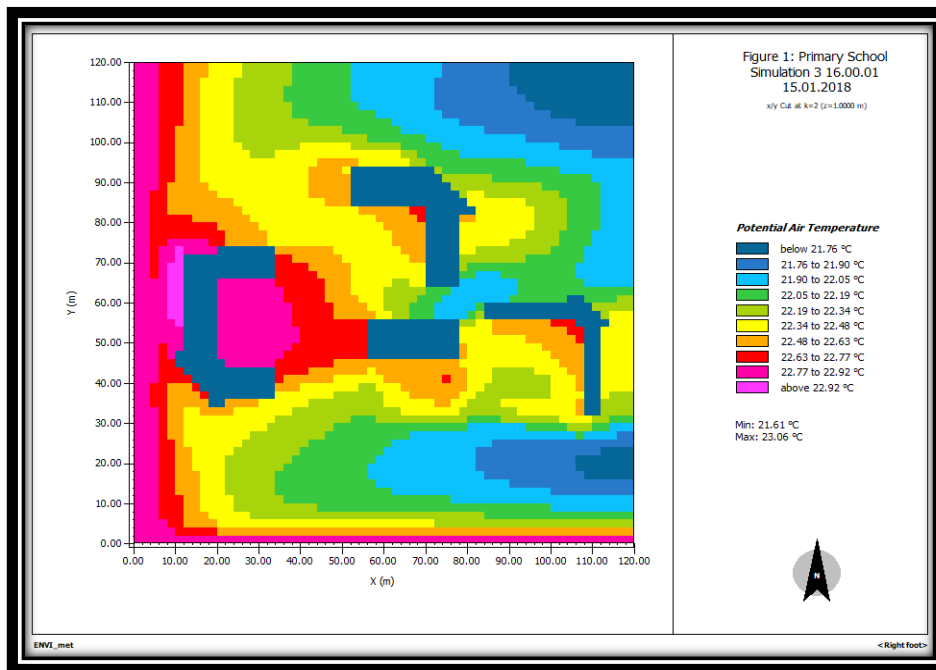


Figure 66: Cartes de la température potentielle de l'air à 16:00 h . Source (auteur2020)

- Mois de Mars :

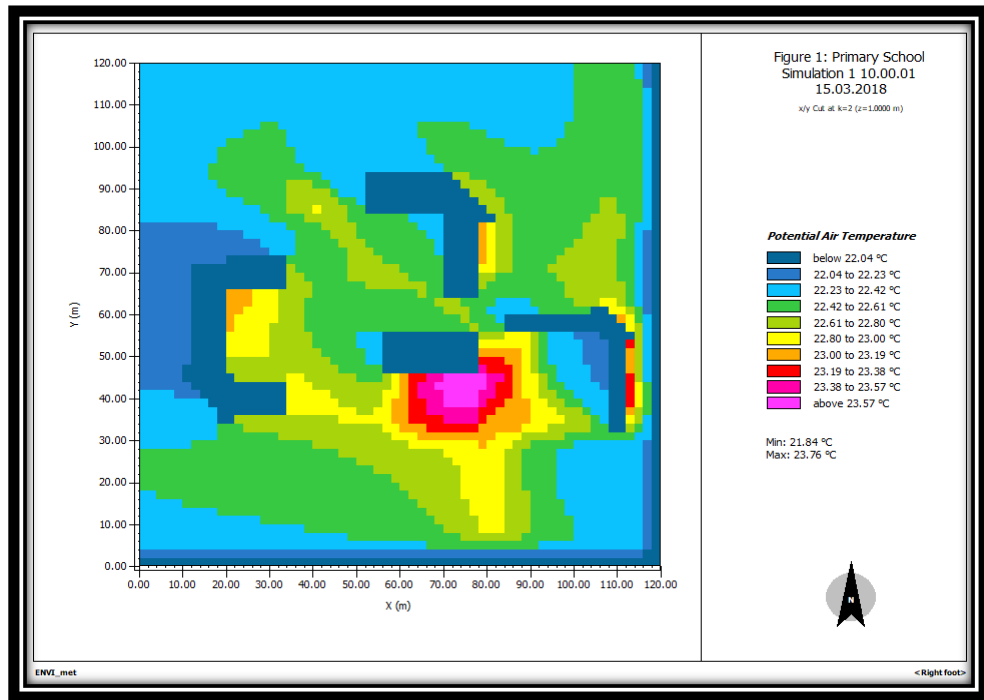


Figure 67 : Cartes de la température potentielle de l'air à 10:00 h. Source (auteur2020)

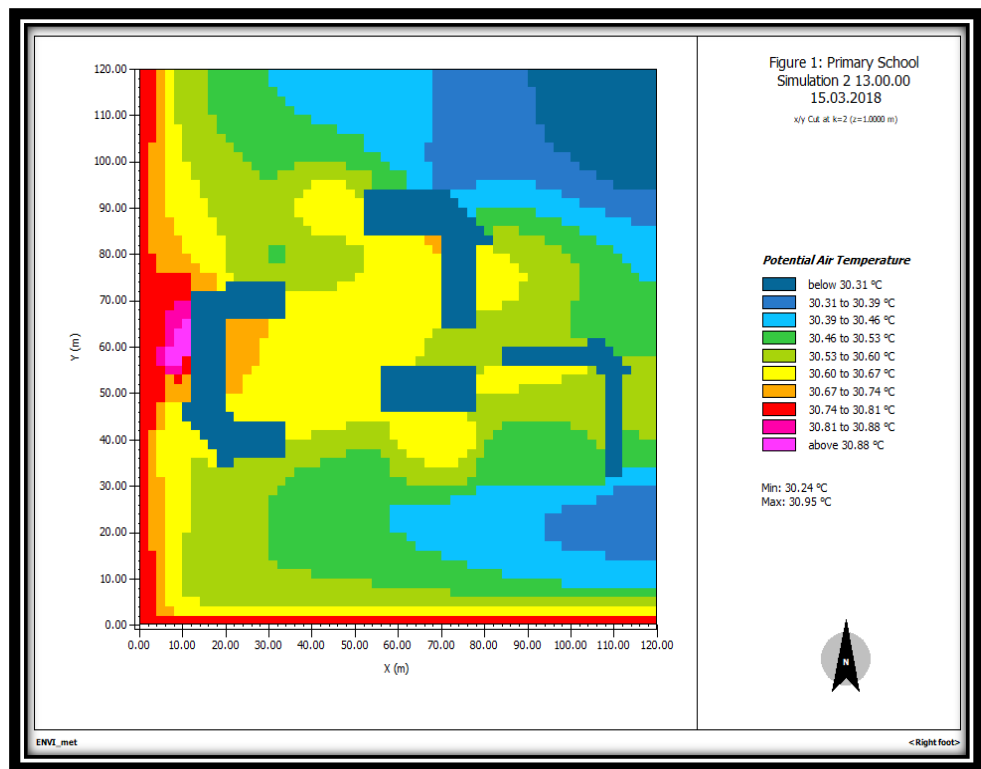


Figure 68 : Cartes de la température potentielle de l'air à 13:00 h . Source (auteur2020)

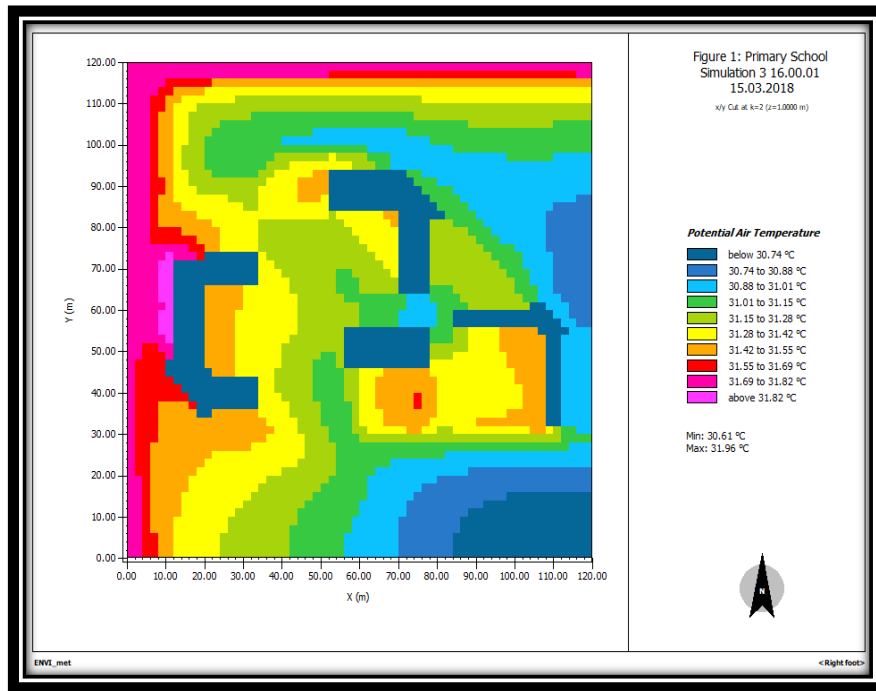


Figure 69: Cartes de la température potentielle de l'air à 16:00 h. Source (auteur2020)

- Mois de Mai :

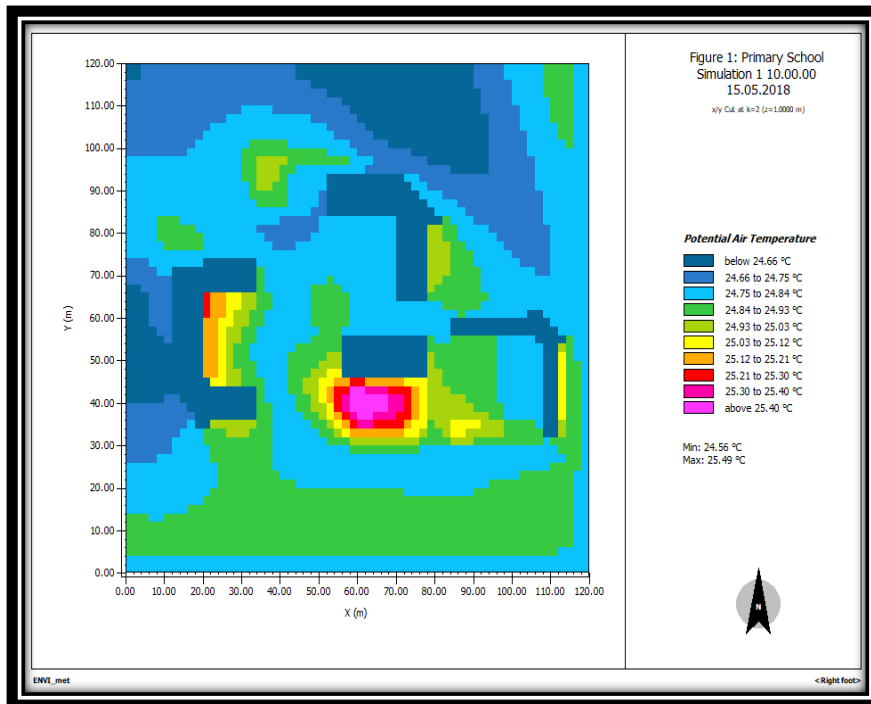


Figure 70: Cartes de la température potentielle de l'air à 10:00 h. Source (auteur2020)

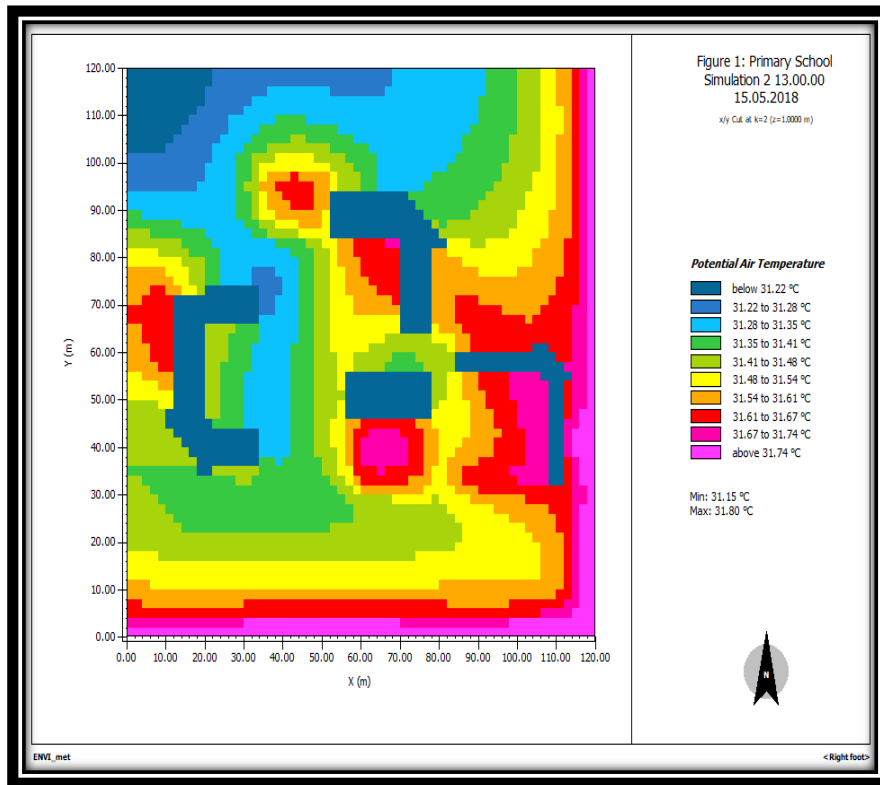


Figure 71: Cartes de la température potentielle de l'air à 13:00 h. Source (auteur2020)

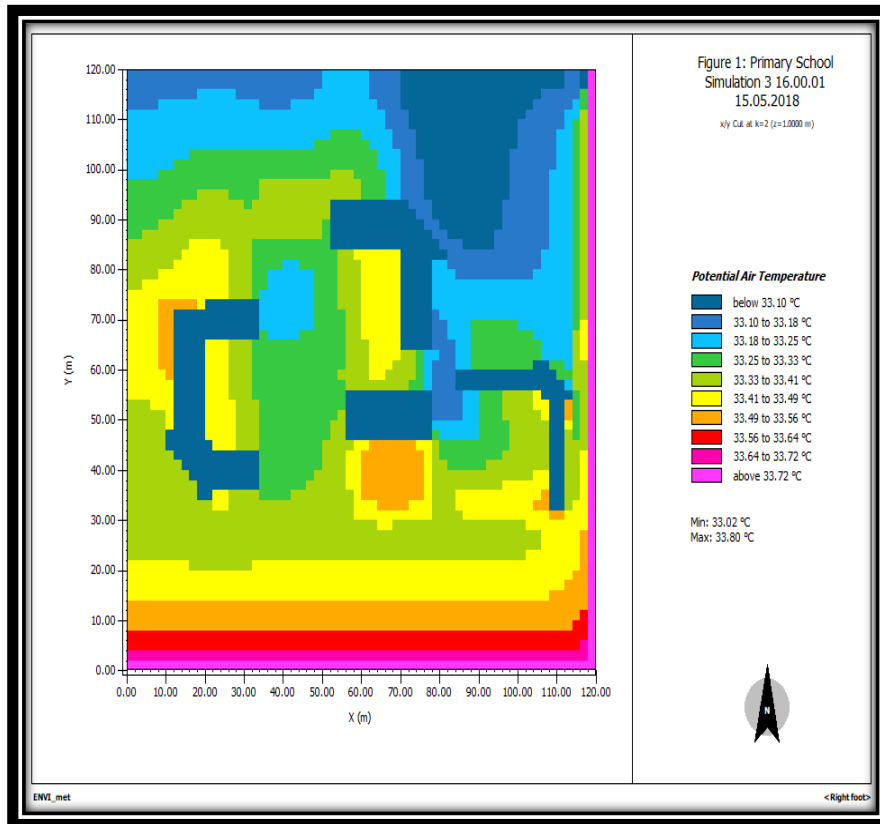


Figure 72: Cartes de la température potentielle de l'air à 16:00 h. Source (auteur2020)

b- Analyses et discussion des résultats :

Pendant le mois de Janvier il est remarquable que les températures potentielles de l'air dans les 3 cours du groupe scolaire arrivent des valeurs maximales de 23 °C durant la période entre 13.00 et 16.00 h , par contre à matinée on a marqué seulement 13 °C comme valeur maximal de température potentielle de l'air .

Pendant le mois de Mai , les températures potentielles de l'air dans les 3 cours du groupe arrivent des valeurs maximales entre 31 et 32 °C durant la période entre 13.00 et 16.00 h , alors que à matinée cette fois la température potentielle de l'air arrive à 23 °C comme valeur maximal

le mois de Mai , les températures potentielles de l'air dans les 3 cours du groupe sont devenues plus élevées à 25 °C dans les trois période de la journée jusqu'elles arrivent à un valeur maximal de 33 °C à 16:00 h

B- Scénario 02 :

représente le premier modèle aménagé de notre projet, dans ce scénario on a mis des zones végétalisées autour des trois cours de récréation à travers trois types d'arbres.

- On a utilisé l'Amélanchier du Canada pour aligner les galeries qui entourent les cours, avec un espacement entre chaque une de cette dernière de 5m, cet espacement a compris des Fusains ailés compactés de 1 m seulement pour ne pas faire un problème d'éclairage au niveau des galeries.

Et pour définir les limites entre les 3 trois principaux équipements qui compose notre projet on a utilisé des Buis pyrales et champignons à tailler d'une hauteur de 1.5 m .

a- Cartes microclimatiques :

- **Moi de janvier :**

2

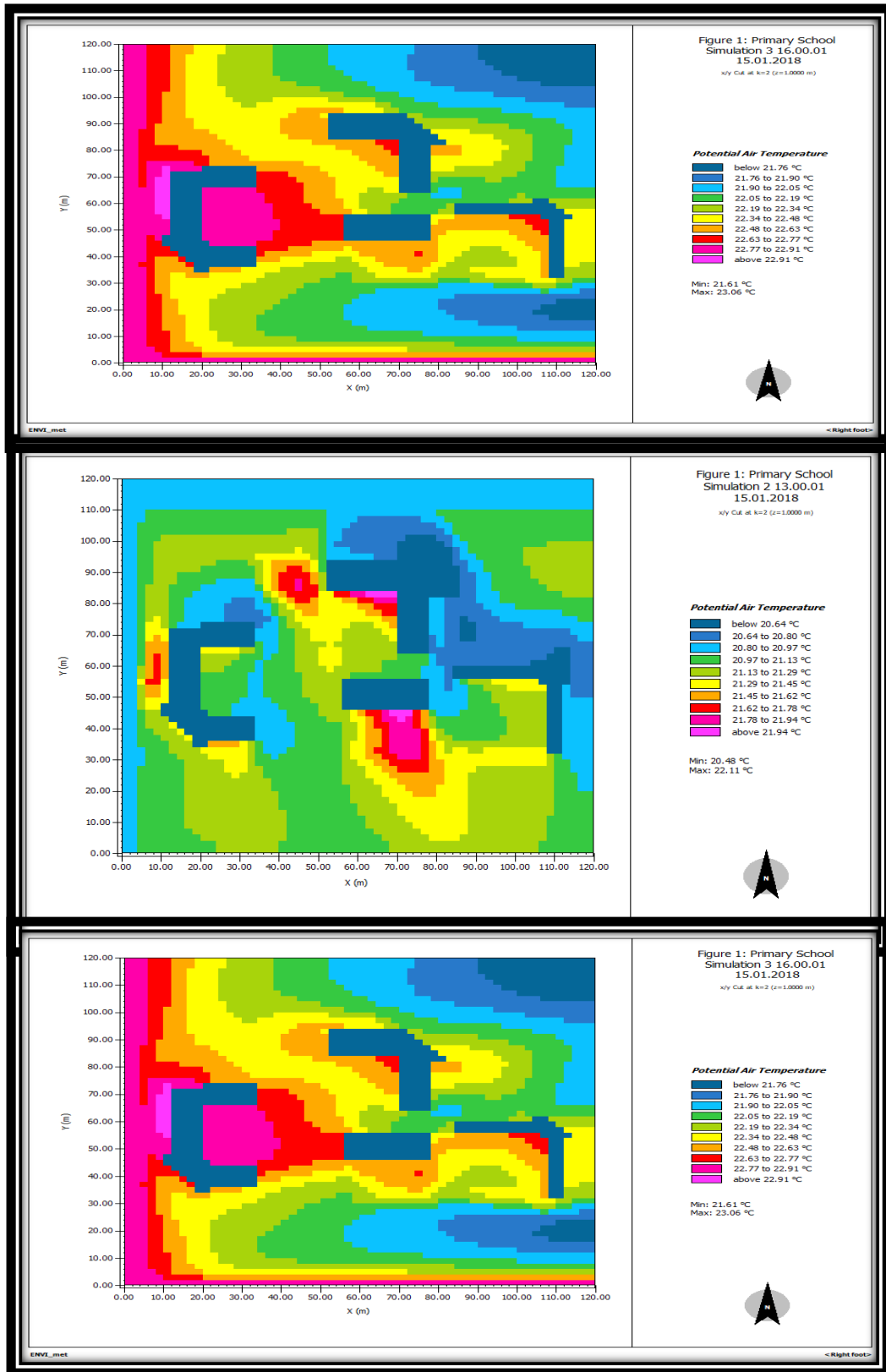


Figure 73: Cartes de la température potentielle de l'air du janvier à 10:00 ,13.00 et à 16.00 h . Source (auteur2020)

- Mois de mars :

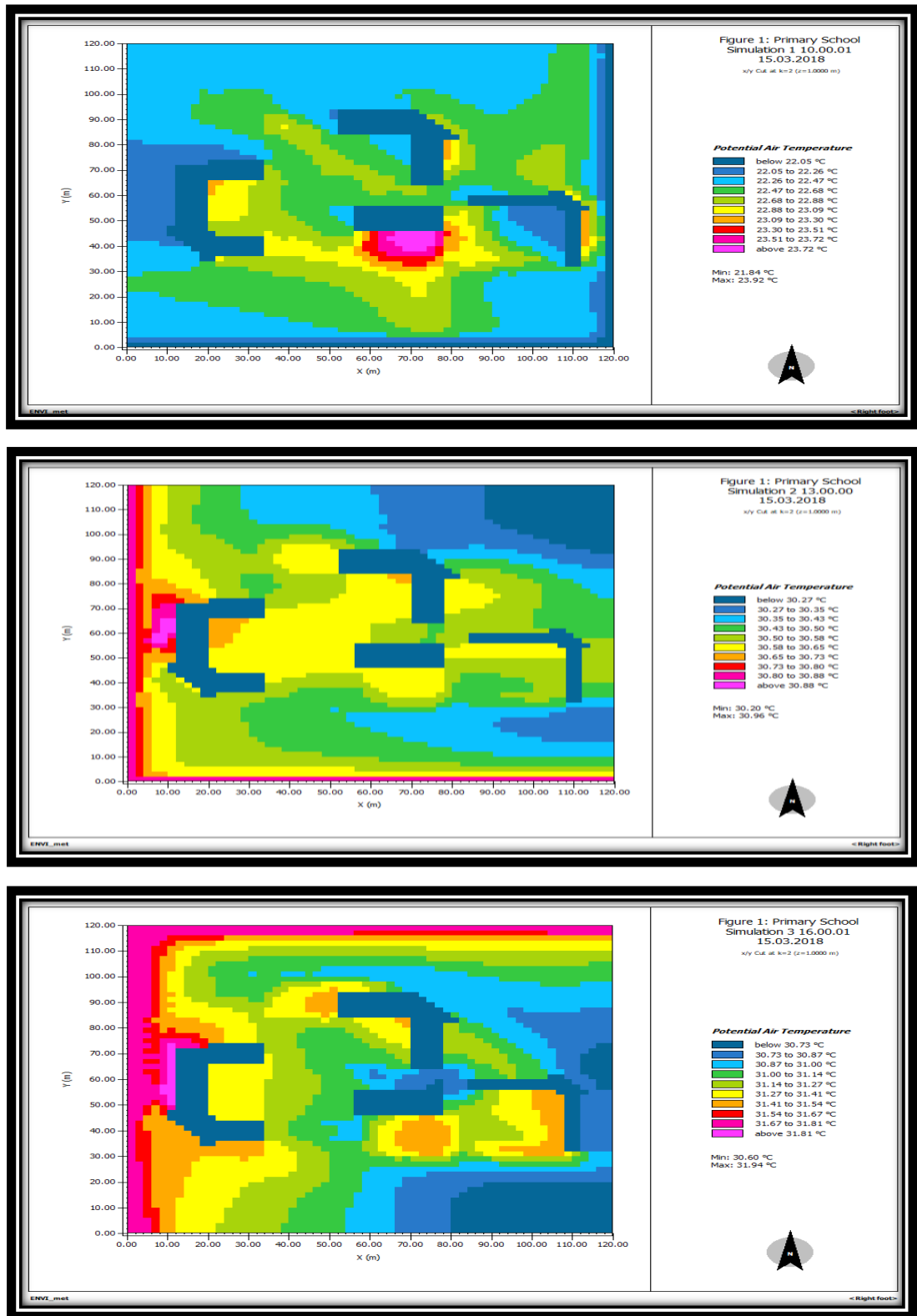


Figure 74: Cartes de la température potentielle de l'air du mars à 10:00 ,13.00 et à 16.00 h . Source (auteur2020)

- Moi de mai :

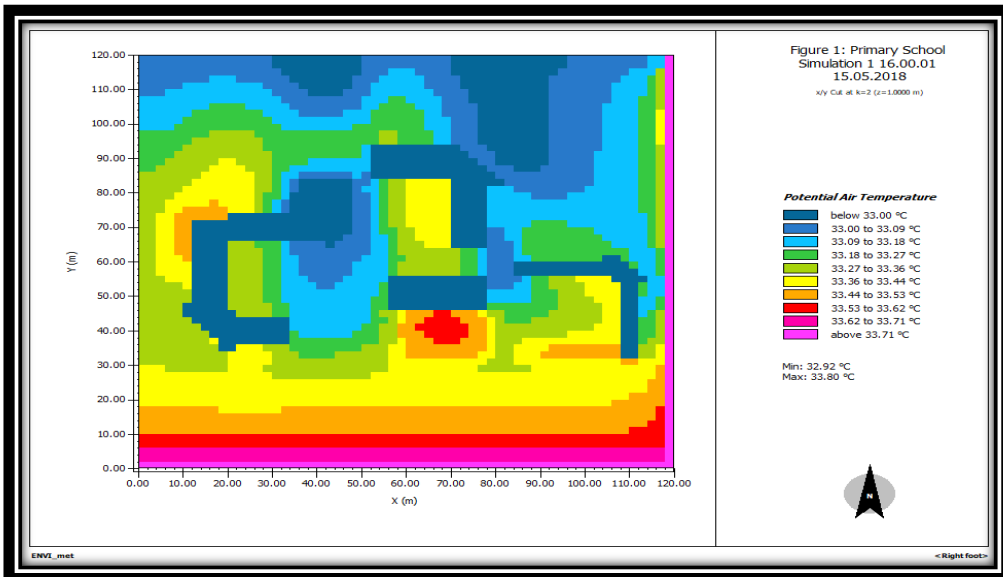
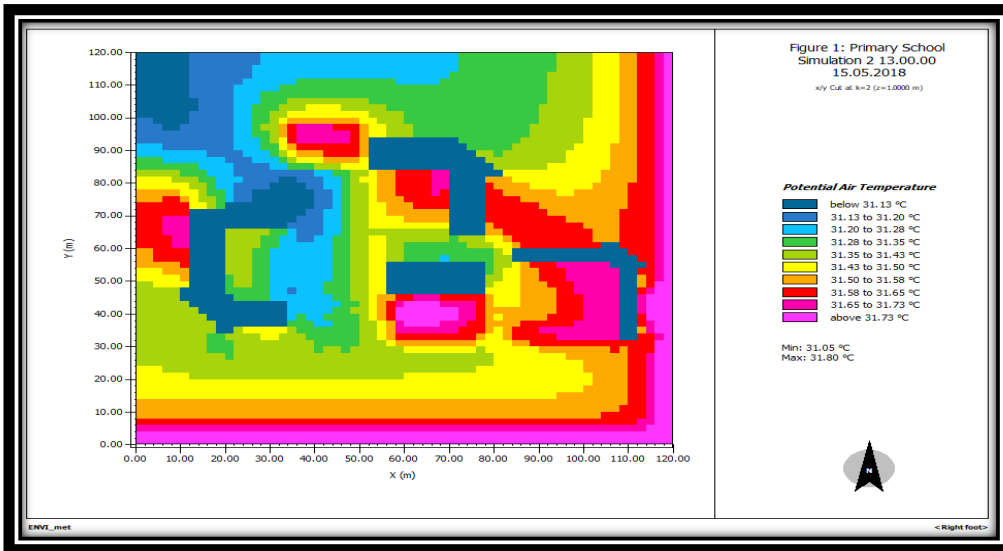
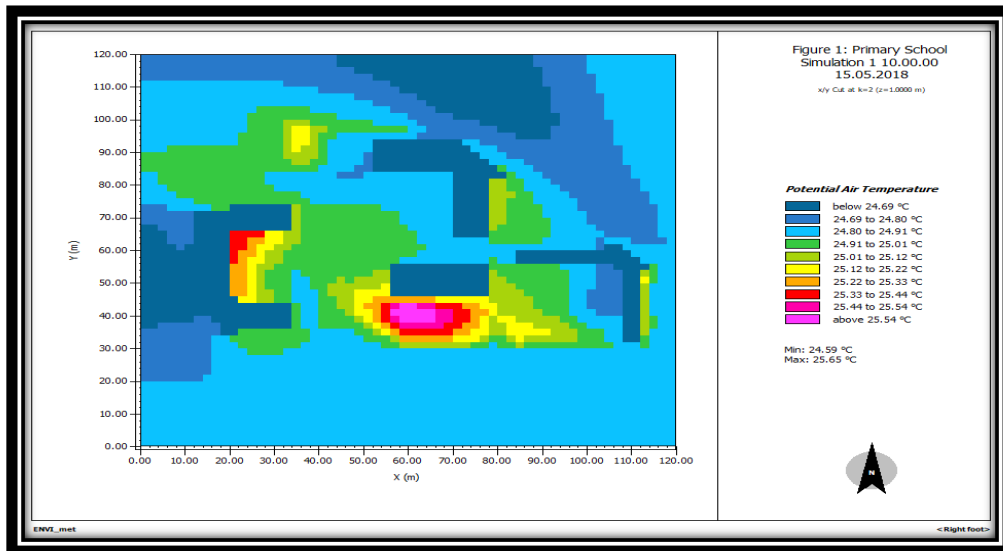


Figure 75: Cartes de la température potentielle de l'air du mars à 10:00 ,13.00 et à 16.00 h . Source (auteur2020)

b- Analyses et discussion des résultats :

Pendant le mois de Janvier il est remarquable que les températures potentielles de l'air dans les 3 cours du groupe scolaire arrivent des valeurs maximales de 23 °C durant la période entre 13.00 et 16.00 h , par contre à matinée on a marqué seulement 13 °C comme valeur maximal de température potentielle de l'air .

Pendant le mois de Mars, les températures potentielles de l'air dans les 3 cours du groupe arrivent des valeurs maximales entre 28 et 29 °C durant la période entre 13.00 et 16.00 h , alors que à matinée cette fois la température potentielle de l'air arrive à 20 °C comme valeur maximal

Concernant le mois de Mai , les températures potentielles de l'air dans les 3 cours du groupe sont devenues plus élevées à 25 °C dans les trois période de la journée jusqu'elles arrivent à un valeur maximal de 32.1 °C à 16:00 h (un écart de 0.9 °C par rapport au modèle initial.)

Alors, on constate un effet de rafraichissement tout au long de la journée. Cet effet est important.

Alors, on constate un effet de rafraichissement tout au long de la journée. Cet effet est important.

3- Comparaison des scénarios :

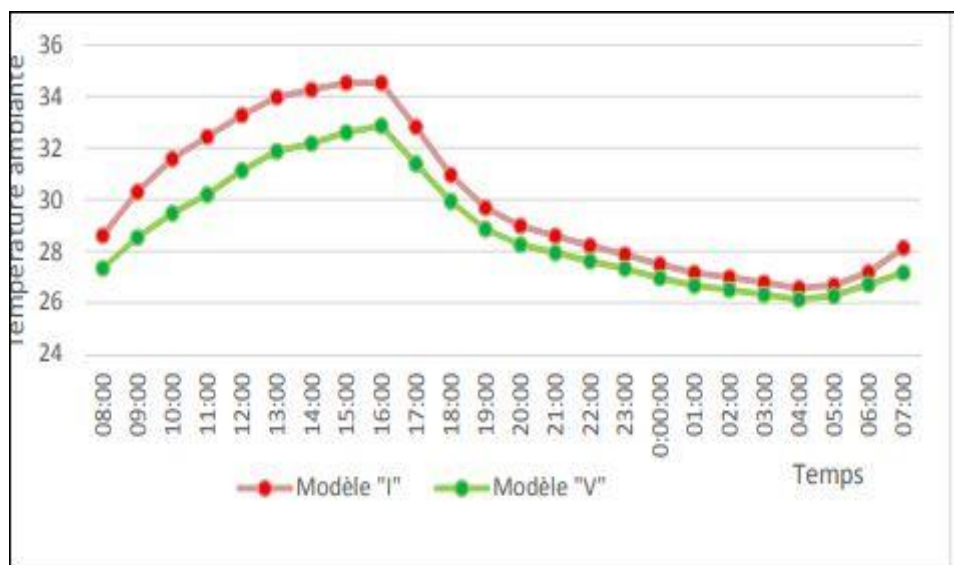


Figure 76: Courbe de Variation de la température de l'air ambiante pour le modèle "V" (scénario 2) et le modèle initial (scénario 1) pour le mois de mai, **Source** (auteur 2020)

Les cartes des la figures 73,74,75 montrent l'écart de température entre le modèle « vert » et le modèle initial à 13 :00 et 16:00 . En observant ces cartes, on peut constater un effet de rafraichissement dans les zones végétalisées durant la journée . En comparant les résultats, on

peut remarquer que les écarts de température sont plus importants durant la journée. Ces écarts peuvent atteindre une réduction d'environ 1.4 °C à 16 :00 h pendant le mois de mai qui est le mois le plus chaud durant l'années scolaire, représenté par les taches émis dans le tableau sur les cartes extraites d'ENVI-met.

Mois	Janvier			Mars			Mai		
Scénario intial (i)									
Temperature potentielle Minimale (C°)	A 10.00 h	A 13.00 h	A 16.00 h	A 10.00 h	A 13.00 h	A 16.00 h	A 10.00 h	A 13.00 h	A 16.00 h
	11.88 (C°)	13.23 (C°)	21.61 (C°)	21.84 (C°)	30.20 (C°)	30..60 (C°)	24.59 (C°)	31.05 (C°)	32..92 (C°)
Temperature potentielle maximale (C°)	13.9 (C°)	22.57 (C°)	23.36 (C°)	23.92 (C°)	30.96 (C°)	31.90 (C°)	24.59 (C°)	32.80 (C°)	33.80 (C°)
Scénario vert (v)									
Temperature potentielle Minimale (C°)	A 10.00 h	A 13.00 h	A 16.00 h	A 10.00 h	A 13.00 h	A 16.00 h	A 10.00 h	A 13.00 h	A 16.00 h
	11.88 (C°)	20.48 (C°)	21.61 (C°)	21.84 (C°)	30.20 (C°)	30..60 (C°)	24.59 (C°)	31.05 (C°)	32..92 (C°)
Temperature potentielle maximale (C°)	13.29 (C°)	22.07 (C°)	23.06 (C°)	23.32 (C°)	30.26 (C°)	31.1 (C°)	23.8 (C°)	31.70 (C°)	32.40 (C°)
L'ecart des température maximales (C°)	0.61 (C°)	0.5 (C°)	0.3 (C°)	0.6 (C°)	0.7 (C°)	0.8 (C°)	0.8 (C°)	1.1 (C°)	1.4 (C°)

Table 07 : les écarts des températures entre le modèle intiale et le modèle vert à 10.00 , 13.00 et 16.00 h durant les mois de janvier, mars et mai **Source** (auteur 2020)



Figure 77 : Pourcentage des points de la grille dont la température a diminué par rapport au cas de base

La figure (77) montre que la température de 93 % des points du maillage étudié a diminué à cause de la végétation, montrant l'extension de l'effet de fraîcheur durant la journée.

Conclusion :

Dans cette démarche, on a arrivée à prouver que La présence d'une dense zone végétalisée a permis de créer un îlot de fraîcheur de jour , ce qui nous conduire à soutenir les hypothèses enoncé au début de cette recherche , c'est que l'utilisation des de la végétation au seins des cours recreation peut créer un microclimat favorable pour les élèves

Conclusion générale :

Conclusion générale :

Depuis les premières études sur l'influence de la ville sur son climat, comme celle menée à Londres en 1833 par Luke Howard¹³⁶, plusieurs travaux ont été conduits s'intéressant principalement à la description du microclimat urbain.

Dès les années 1930 et ce jusqu'aux années 1960, les recherches comprennent des études plus précises sur les relations entre la structure urbaine et son climat. Puis les recherches se font plus pointues, plus précises, plus physiques et avec l'arrivée de l'informatique viennent les premières modélisations. L'effet de la ville sur le climat a été considéré à une échelle qualifiée de microclimatique. L'examen des modifications du climat à travers les différents niveaux scalaires a permis de situer l'espace extérieur urbain à une échelle microclimatique et saisir les éléments intervenant dans la caractérisation de l'ambiance climatique à ce niveau spatial. L'apparition de l'îlot de chaleur est la manifestation climatique la plus connue de l'influence du milieu urbain sur son climat.

Cependant, les vents, l'humidité et la pluviométrie sont eux aussi modifiés et les conséquences sur le confort peuvent être non négligeables. Le climat urbain a été étudié dès les années 1950 mettant ainsi en exergue plusieurs facteurs : la pollution atmosphérique, l'albédo, les rejets thermiques anthropiques, la capacité calorifique et l'imperméabilisation des sols, la géométrie de la ville et plus récemment le refroidissement naturel en milieu urbain grâce à l'utilisation de puits de fraîcheurs, et dont l'utilisation de la végétation et des bassins d'eau sont les plus représentatif. La plupart des études concernant l'influence de la végétation étaient sur les conditions thermiques extérieures, se sont principalement concentrées sur les espaces verts de grandes tailles. Les effets de la végétation dans de petites zones, comme les squares urbains et les rues sont moins connus, même si dans la plupart des villes leur influence sur le microclimat est importante.

Dans la même logique, la présente recherche essaye de traiter l'impact de la végétation sur les projets urbain dans le but d'arriver à certains seuil de confort thermique des occupants de cet ouvrage, et cela dans le contexte des régions semi-arides à climat chaud et sec plus exactement la ville de Tébessa. à travers une recherche bibliographique concernant nos domaines de recherche notamment, la végétation le confort thermique' l'es équipement éducatifs, après on passer à une simulation numérique de notre projet dans laquelle on a prouvé que la végétation peut diminuer la température de l'air ambiant vis-à-vis le confort des élèves dans les cours de récréation. Les résultats obtenues par simulation ont été, non seulement comparés aux résultats

mesurés in-situ mais aussi entre eux, car la simulation nous ouvre une autre porte, ou dimension dans la recherche et qui est celle de la scénarisation. Cette dernière nous a permis de comparer différentes situations de la cours de récréation ayant comme variables la densité du couvert végétale

Recommandation :

La recherche suivante insiste sur les rôles que peuvent jouer les arbres en tant qu'agent réducteur des stress urbains et l'efficacité qu'on peut en attendre, compte tenu également de certaines nuisances qui leur sont spécifiques, et donc insiste sur un « retour à la nature » avec l'utilisation de procédés qui furent longuement utilisés par nos ancêtres et qu'on malheureusement oubliés.

Cette recherche et celles entreprises dans ce domaine ne devraient pas rester dans un simple cadre théorique ou pédagogique, mais devraient au contraire constituer une base de travail pour les aménageurs, urbanistes et architectes qui devront être eux aussi initiés à cet aspect de l'architecture qui -disons le- est négligé dans la formation d'architecte et urbaniste. Et cela dans le but d'opter pour une planification urbaine qui respecte l'environnement et qui considère le contexte de chaque zone.

Il n'y pas que les architectes qui devront être sensibilisé aux rôles très importants des aménagements urbains, les politiques et décideurs eux aussi devront l'être. Même le citoyen devra être sujet à une éducation environnementale afin qu'il soit conscient du devenir écologique de son quartier, de sa ville, de son pays et même de sa planète.

En somme, une sensibilisation de toute la société à l'importance de la trame verte sous toute ses formes que ce soit parcs, jardins, arbres d'alignement ou arbres d'agrément. La même chose s'applique pour les aménagements d'eau telle les fontaines, cascades, jets d'eau ou autres aménagements qui relèvent carrément de l'art

En parlant des décideurs et politiques, il ne suffit pas seulement de les initier et leur faire prendre conscience de l'apport des tels aménagements, mais il faut aussi les convaincre, eux dont la première langue n'est que celle des chiffres.

C'est pour cela que ce genre d'études devrait prendre en considération l'aspect des coûts et des bénéfiques, compte tenu de la valeur monétaire propre de ces aménagements, mais aussi les économies d'énergie qu'ils apportent. Les méthodes et modèles provenant de telles recherches

seront communiqués aux planificateurs et décideurs. Pour cela la simulation semble être l'outil de conviction par excellence, vu qu'elle permet 302

-comme on l'a dit avant- de se projeter dans le futur et de simuler des scénarios qui n'existent pas encore. Néanmoins le logiciel ENVI-met semble être limité à propos de certains paramètres et l'utilisation d'autres logiciels beaucoup plus performant devraient être utilisés, on citera comme exemple : Solène, N3S, Fluent, Radtherm, etc....

Table Bibliographique :

- AMOR., M. B. (2010). *LE RÔLE DE LA VÉGÉTATION ET L'EAU DANS LA CREATION D'UN MICROCLIMAT.* constantine, Département d'Architecture et d'Urbanisme. .
- APPA. (2014). *Dossier Thématique / VEGETATION URBAINE /LES ENJEUX POUR L'ENVIRONNEMENT ET LA SANTE.* Récupéré sur www.appanpc.fr/outiltheque/dossiers
- Bouyer, J. (2009). *Modélisation et simulation des microclimats urbains* -. UNIVERSITÉ DE NANTES - École polytechnique de l'Université de Nantes.
- Centre d'études sur les réseaux, I. t. (2001). *Méthode d'analyse transversale pour l'observation des mutations urbaines.*
- Donadieu, P. (1998). *l'invention du sauvage dans les marais paysagistes.*
- FAHED, j. (2018). *Etude numérique du potentiel de rafraichissement des ICH sous climat méditerranéen.* DEPARTEMENT Génie civil. INSA de Toulouse, 2018.
- Félix, B. (2009). *Caractérisation des espaces verts.*
- La végétation et l'enseignement.* (s.d.). De Groene Stad et Wageningen University & Research.
- Mohamed, B. (2013-2016). *La végétation en ville Aspect paysager et qualité urbaine.* Djelfa, Université Batna-Institut d'Architecture et d'urbanisme-Département d'architecture.
- Samia, M. L. (s.d.). *Forme architecturale et confort hygrothermique dans les bâtiments EDUCATIFS.* Université Mohamed Khider – Biskra.
- UNESCO. (1986). *Normes et standards des constructions scolaires* . Paris.
- Yang J., Yu Q., Gong P. (2008). Quantifying air pollution removal byby green roofs, Atmospheric Environment

Table des figures :

Shéma expliquant le processus evapo-transpiration, Source (futura-sciences.com 2020)	9
Toiture végétalisée d'une Jardin d'enfant à WUXI en CHINE (Archidaily/2019)	13
Le mur végétal de la rue d'Aboukir à Paris (viveparis.fr/2019).	14
exemple des arbres d'alignement à paris (Pinterest.com/ 2019)	16
Espace vert d'accompagnement d'immeuble (privé) à Lille en France(pinterest.com/2019)	17
Square port el Saïd à Alger , source(elwatan.com/2019)	17
jardin public à Bordeaux en France, source (Pinterest.com/2019)	18
Parc André Citroën à Paris, source (pinterest.com/2019)	19
Suburban park in Richmond Hill, Canada, source (alamy.com/2019)	20
Ceinture verte de Londres (Angleterre), source (Google maps/2019)	21
plan d'une école à modèle Prussien, source (Foster S, al,2004)	60
plan d'un bâtiment scolaire à typologie Heitmatstil. source (Foster S. et al., 2004)	61
l'école de plein air du boulevard Bessières à Paris, source (retronews2018)	61
Typologies des bâtiments éducatifs selon l'étude de Da Graça 2007. Source (Labrech.S 2015)	66
Typologies des bâtiments éducatifs selon l'étude SBDU 2002. Source (Labrech.S 2015)	67
Typologies des bâtiments éducatifs selon l'étude du Dudek 2007. Source (Labrech.S 2015)	67
Typologies des bâtiments éducatifs selon l'étude de Kliment 2001. Source (Labrech.S 2015)	68
Typologies des bâtiments éducatifs selon l'étude de Dimoudi et Kostarela (2009) Source (M. Iturra, 2011 réadapté par Labrech Samia 2015)	69
Salle de classe primaire à Bruxelles, source (portakabin.fr/2019)	74
labo des sciences d'une école à Lyon, Source (education.gouv.fr/2019)	75
plan d'une salle de préparation centralisée entre 2 labos, source (education.gouv.fr/2019)	76
modèle d'une salle d'informatique, source (google.com/2019)	76
modèle d'une salle polyvalente, source (google.com/2019)	77
Bibliothèque du collège d'Arc à Roubaix – France (Collégedelarc.fr/2019)	77
Sanitaires filles/garçons de l'école primaire Zaydi Ali à tébessa, source (auteur2019)	80
service de restauration à l'écoles publiques de Challans.à Lyon, source (pinterest2016)	82
réfectoire d'une école primaire à Oran, (Algérie360.com/2019)	83
les niveaux d'éclairément recommandés dans les établissements scolaires fixés par la norme NF 12464-1	86
Fichier éditeur de l'axe étudié source (Zemmoura Zineddine 2009)	91
Représentation de la zone digitalisé avec l' Envi-met, Source (Alexandre follin 2019)	92
De la structure urbaine à la maille de simulation, source (Groleau et al, 2003).	95
Exemple d'un modèle de surfex. source (meteo.fr/2020)	96
The schematic diagram of VUCM. Light and dark arrows indicate the pathways of heat andmoisture, .	96
logo du logiciel Envi-met Source (Envie-met company/2020)	98
Un exemple de l'éditeur utilisé pour créer les fichiers nécessaire à la simulation pour ENVI-met,	99
Trois scénarios et leurs profiles des températures, source (Yu et Hien, 2006)	100
La cate géographique de la wilaya de tébessa,	101
graphe de la moyenne mensuelle des précipitations sur 18 ans. Période 2000 à 2018	103

Graphe des variations mensuelles des températures maximales, moyennes et minimales sur 18 ans. Période 2000 à 2018 Source : (Station météorologique Tébessa ,2018) _____	104
Graphe d'Humidité moyenne mensuelle sur 18 ans. Période 2000 à 2018 _____	104
La rose du vents de Tébessa source (meteoblue.com/2020) _____	106
Plan de situation du cas d'étude Source (Google Earth 2020) _____	107
Shéma d'accessibilité de terrain, source (auteur 2019) _____	107
Shéma de morphologie et limites de terrain de terrain, source (auteur 2019) _____	108
Coupes topographiqu, Source (Google earth2019) _____	109
programme retenu de l'école primaire, Source auteur (2020) _____	111
Programme retenu de l'école d'enseignement moyen, Source (auteur 2020) _____	112
programme retenu du lycée et du groupe scolaire total . Source (auteur 2020) _____	114
Plans architecturaux du lycée rdc + etage 1 Source (auteur2020) _____	114
Plan architectural du lycée etage, Source (auteur2020) _____	115
Plans architecturaux du CEM rdc + etage 1, Source (auteur2020) _____	115
plans architecturaux de l'école primaire rdc + etage 1 Source (auteur2020) _____	116
Plan d'ensemble du groupe scolaire Source (auteur2020) _____	116
Modél de simulation de la cour de récréation Source (auteur2020) _____	117
L'interface d'ENVI-met Headquarter, Source (Auteur 2020) _____	118
Le plan du terrain étudié 'bpm', Source Auteur (2020) _____	118
Fichier éditeur du terrain étudié [ENVI-met 4.0], Source (Hauteur 2020) _____	119
Modèle d'un fichier de données de base de végétation [Envi-met 4.0], Source (auteur 2020) _____	120
Modèle d'un fichier de données de base pour sol [Envi-met 4.0] , Source (auteur 2020) _____	121
Schéma 2D et 3D du terrain étudié à l'état actuel avec toutes les données [ENVI-met 4.0] (Hauteur 2020) _____	122
Schéma 2D avec aménagement proposé avec toutes les données[ENVI-met 4.0] (Hauteur 2020) _____	122
Fichier de configuration du terrain étudié à l'état actuel [ENVI-met 4.0] (Hauteur 2020) _____	123
Fichier de configuration du terrain étudié avec aménagement proposé [ENVI-met 4.0] (Hauteur 2020) _____	123
Cartes de la température potentielle de l'air à 10:00 h. Source (auteur2020) _____	126
Cartes de la température potentielle de l'air à 13:00 h . Source (auteur2020) _____	127
Cartes de la température potentielle de l'air à 16:00 h . Source (auteur2020) _____	127
Cartes de la température potentielle de l'air à 10:00 h. Source (auteur2020) _____	128
Cartes de la température potentielle de l'air à 13:00 h . Source (auteur2020) _____	128
Cartes de la température potentielle de l'air à 16:00 h. Source (auteur2020) _____	129
Cartes de la température potentielle de l'air à 10:00 h. Source (auteur2020) _____	129
Cartes de la température potentielle de l'air à 13:00 h. Source (auteur2020) _____	130
Cartes de la température potentielle de l'air à 16:00 h . Source (auteur2020) _____	130

Liste des tableaux :

Tableau 1: classification des écoles primaires en Algérie, source (ministère de l'education national 2008)	72
Tableau 2: classification des écoles primaires en Algérie, source (ministère de l'education national 2008)	72
Tableau 3 : Moyennes des précipitations, des températures et de l'humidité sur 18 ans	103
Tableau 4 : Moyennes mensuelles de nombre de jours de neige sur 18 ans. Période 2000 à 2018, .	105
Tableau 5: Moyennes mensuelles de nombre de jours de neige sur 15 ans. Période 2000 à 2014.....	105
Tableau 6: Des fréquences des vents : Année 2014	106