

RÉPUBLIQUE ALGERIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET

DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou

Faculté du Génie de la Construction

Département d'Architecture

MÉMOIRE DE MAGISTER

Spécialité : Architecture

Option : Architecture et développement durable

Thème

Étude du confort thermique des salles de cours des établissements scolaires à différentes typologies

Cas des établissements d'enseignements moyen et secondaire à Tizi-Ouzou

Présenté par :

Saddok Amel

Devant le jury composé de :

Mr. Makhlouf Saïd	Professeur	UMMTO	Président
Mr. Djebri Boualem	Maître de conférences (A)	EPAU. Alger	Rapporteur
Mr. Chenak Abdelkrim	Chargé de recherche	CDER. Alger	Examineur
Mme. Boussoualim Aïcha	Professeur	EPAU. Alger	Examinatrice

Soutenu en Janvier 2016

REMERCIEMENTS

Je remercie Allah, Seigneur du monde de m'avoir donné l'inspiration et la patience pour mener à bien ce travail.

Si ce travail a pu voir le jour, c'est grâce à l'appui et au soutien de nombreuses personnes. Qu'elles reçoivent ici ma plus sincère reconnaissance.

J'exprime mes plus vifs remerciements à mon encadreur, Mr. Djebri Boualem, Maître de Conférences à l'Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme d'Alger, pour la qualité de son encadrement, ses conseils avisés, la confiance qu'il m'a accordée et sa disponibilité tout au long de la réalisation de ce travail. Je le remercie particulièrement, pour son soutien et ses grandes qualités humaines.

Je souhaite adresser mes remerciements aux membres du jury qui ont enrichi ce travail, à Mr. Makhlouf Saïd, qui a aimablement accepté de présider le jury de mon travail de recherche, à Mme. Boussoualim Aïcha, d'avoir accepté d'évaluer ce travail, à Mr. Chenak Abdelkrim, d'avoir accepté à son tour d'examiner ce travail. Leurs remarques, critiques, orientations et conseils me seront très utiles pour une continuité dans le processus de la recherche scientifique.

Je souhaite remercier tous les enseignants du département d'architecture de Tizi-Ouzou, pour leur disponibilité et encouragements tout au long de ma formation ainsi que tous mes amis, pour leur soutien moral et leur aide précieuse.

Enfin, mon immense gratitude et mon admiration pour mes parents et toute ma famille pour leur aide et soutien infaillible.

Résumé

Le confort thermique dans les bâtiments scolaires prend un grand intérêt et demeure parmi les facteurs les plus déterminants de la performance des systèmes éducatifs. Toutefois, la recherche à le satisfaire sans intégrer la composante environnementale a renforcé les problématiques énergétiques. La nécessité de garantir un environnement propice à l'apprentissage, sain, confortable et durable fait que ces bâtiments doivent être conçus en fonction des exigences du confort tout en s'inscrivant dans l'approche du développement durable.

En Algérie, la production des bâtiments scolaires a dû faire face aux besoins importants d'infrastructures. Pour répondre à cette demande, la construction des bâtiments scolaires était régie par des plans types. Largement reproduits sur tout le territoire national, de grands progrès quantitatifs sont accomplis. Néanmoins, les typologies issues de cette stratégie ont négligé l'aspect qualitatif au préjudice d'économie et de rapidité d'exécution. L'importance des enjeux liés au secteur de l'éducation d'une part et celui de l'environnement d'autre part éveillent des questionnements relatifs à la qualité des ambiances que pourra procurer ces typologies et leur capacité de répondre aux défis environnementaux du XXI^{ème} siècle.

L'objectif principal du présent travail de recherche est l'évaluation du confort thermique dans les typologies les plus récurrentes des bâtiments scolaires d'enseignements moyen et secondaire dans le contexte climatique de la ville de Tizi-Ouzou. L'enquête par questionnaire et les campagnes de mesures in-situ sont les moyens utilisés pour répondre à la problématique.

Les principaux résultats obtenus révèlent une insatisfaction à l'égard de l'ambiance thermique chez les occupants et que la qualité environnementale n'est pas prise en considération dans la conception de ces bâtiments.

Mots clés : Confort thermique, établissements scolaires, développement durable, typologie architecturale.

Abstract

Thermal comfort in school buildings takes a great interest and remains among the most critical of the performance of education systems factors. However, research to satisfy without integrating the environmental component has strengthened energy issues. The need to ensure an environment conducive to learning, healthy, comfortable and durable that these buildings must be designed according to the requirements of the users' comfort while remaining within the approach of sustainable development.

In Algeria, production of school buildings had to respond to major infrastructure needs. Faced with this request, standard plans have been proposed by the government. Widely reproduced in any country, large quantitative progress is accomplished. However, the types of school buildings from this strategy have neglected the qualitative aspect and climatic characteristics of each region to the detriment of economy and timeliness. The importance of issues related to the education sector on one hand, and of environment on the other hand, arouses questions about the quality of moods that can provide these types of plans; and ability to meet the environmental challenges of the XXI century.

The main aim of this research task is the evaluation of thermal comfort in the recurring typologies of the school buildings of lesson means and secondary in the climatic context of the Tizi-Ouzou city. The investigation by questionnaire and the series of in-situ measurements are the means used to answer the problems.

The principal results obtained reveal a dissatisfaction with regard to thermal environment at the occupants and that environmental quality is not taken into account in the design of these buildings.

Keywords: Thermal comfort, schools, sustainable development, architectural typology.

ملخص

تحضي الراحة الحرارية في المباني المدرسية باهتمام كبيراً حيث تعتبر من بين أهم العوامل لنجاح المنظومة التعليمية. و لكن تحقيق هذه الراحة دون إدماج العنصر البيئي ساهم في تفاقم المشاكل المعقدة بالبيئة والطاقة. ضرورة توفير جو ملائم للتمدرس، صحي، مريح ودائم يجعل هذه المباني في إلزامية إلى أن تصمم وفقاً لمتطلبات راحة المستخدمين و في إطار نهج التنمية المستدامة.

التطور الديموغرافي الكبير الذي عرفته الجزائر إضافة إلى سياسة واسعة النطاق من التعليم الإلزامي و المجاني جعل الطلب يتزايد علي المباني المدرسية. لمواجهة هذا الطلب، تم اقتراح مخططات نموذجية. تم بناء هذه النماذج في كامل التراب الوطني مقلصاً بذلك العجز الكمي للمباني. ولكن ، أنواع المباني المدرسية المستوحاة من هذه الإستراتيجية أهملت الجانب المناخي و الخصائص النوعية لكل منطقة على حساب الاقتصاد وسرعة الانجاز. أهمية القضايا المتعلقة بقطاع التعليم، ، من جهة، وواجب خلق هذه الجودة في الاحترام التام للبيئة، من ناحية أخرى، تثير تساؤلات حول نوعية الأجواء الحرارية التي يمكن أن توفرها هذه المخططات النموذجية؛ و مدى قدرتها على مواجهة التحديات البيئية للقرن الحادي والعشرين.

الهدف الرئيسي من هذا العمل البحثي هو تقييم الراحة الحرارية للمباني المدرسية النموذجية المتكررة للتعليم المتوسط والثانوي في السياق المناخي لمدينة تيزي وزو.

الدراسة النفسية واخذ المعايير المناخية كانتا الطريقتين المتبعتين للإجابة على تساؤلاتنا. مطابقة النتائج المتحصل عليها تدل على رداءة الأجواء الحرارية السائدة وعلى فشل هذه الأنواع من المباني في توفير الشروط الضرورية للراحة الحرارية.

الكلمات الرئيسية: الراحة الحرارية، المباني المدرسية، التنمية المستدامة، المخططات النموذجية، هو تقييم

الراحة الحرارية.

TABLE DES MATIERES

RESUME	I
ABSTRACT	II
المخلص.....	III
TABLE DES MATIERES	IV

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION.....	2
PROBLEMATIQUE	3
HYPOTHESES	3
OBJECTIFS	4
METHODOLOGIE DE RECHERCHE.....	4
STRUCTURE DU MEMOIRE	5

PREMIER CHAPITRE : PROBLEMATIQUE DE L'UTILISATION DES ENERGIES FOSSILES POUR PRODUIRE LE CONFORT THERMIQUE DANS LE BATIMENT

Introduction.....	7
I.1. Le contexte énergétique mondial	7
I.1.1. Une demande énergétique mondiale en augmentation constante.....	7
I.1.2. La consommation énergétique mondiale par secteur d'activité	9
I.1.3. Le secteur du bâtiment gros consommateur d'énergie	9
I.1.4. Un héritage bâti très énergivore	11
I.1.5. Les usages énergétiques dans le bâtiment.....	11
I.1.6. L'utilisation de l'énergie fossile dans le secteur du bâtiment : problème et solution .	12
I.2. Problématiques énergétiques mondiales	13
I.2.1. Vers l'épuisement des ressources d'énergies fossiles	13
I.2.2. Le réchauffement climatique.....	14
I.2.3. Le secteur du bâtiment, gros émetteur de gaz à effet de serre	16
1.3. La lutte contre le réchauffement climatique	17
1.3.1. Le sommet de la terre de Rio.....	18
1.3.2. La convention-cadre de Rio.....	18
1.3.3. Les engagements de Kyoto.....	18
1.3.4. Les accords de Marrakech.....	18
1.3. 5. Le sommet de Copenhague	19
I.4. Contribution du secteur du bâtiment dans l'efficacité énergétique	19
I.4.1. Le secteur du bâtiment, un levier de réduction d'émissions de GES	19
I.4.2. L'efficacité énergétique des bâtiments, un acteur clé face aux problématiques énergétiques.....	20
I.5. Le contexte énergétique en Algérie.....	21
I.5.1. Consommation finale par secteur et par types d'énergies en Algérie	22

I.5.2. La consommation énergétique du secteur du bâtiment en Algérie	23
I.5.3. Emissions de GES en Algérie et lutte contre le réchauffement climatique	24
I.6. L'énergie et le confort dans les bâtiments scolaires en Algérie	24
I.6.1. Les bâtiments scolaires en Algérie	24
I.6.2. Utilisation de l'énergie fossile pour le confort des bâtiments scolaires en Algérie	24
I.6.3. Principaux postes consommateurs d'énergies fossiles dans les bâtiments scolaires en Algérie	25
I.6.3.1. Le chauffage	25
I.6.3.2. L'éclairage	26
I.6.3.3. Le rafraîchissement	26
Conclusion	27

DEUXIEME CHAPITRE : ARCHITECTURE DES BATIMENTS SCOLAIRES ; EVOLUTION ET TYPOLOGIES

Introduction	29
II.1. Architecture des bâtiments scolaires	29
II.2. Evolution spatiale des bâtiments scolaires	29
II.2.1. Naissance d'un espace bâti destiné à l'éducation	30
II.2.2. Naissance d'une architecture scolaire	30
II.2.3. Les bâtiments scolaires à typologie Heitmatstil	31
II.2.4. Le mouvement des écoles de plein air	31
II.2.5. Les écoles pavillonnaires	32
II.2.6. Les écoles à aires ouvertes	32
II.2.7. La préfabrication du bâtiment scolaire	33
II.2.8. Des écoles modulables	33
II.2.9. Quelle architecture scolaire pour demain?	33
II.3. La typologie architecturale des bâtiments scolaires	34
II.3.1. Définition de la typologie architecturale des bâtiments	34
II.3.1.1. La définition du corpus	34
II.3.1.2. Le classement préalable	34
II.3.1.3. Elaboration des types	34
II.4. Etat de l'art sur l'étude typologique des bâtiments scolaires selon leurs formes et configurations spatiales	35
II.4.1. Typologies des bâtiments scolaires à Genève	35
II.4.2. Typologies des bâtiments scolaires en Europe	37
II.4.3. Typologies des bâtiments scolaires en Grèce	39
II.4.4. Typologies des bâtiments scolaires au Brésil	39
II.4.5. Typologies des bâtiments scolaires au Royaume-Uni	40
II.4.6. Typologies des bâtiments scolaires aux États-Unis	41
II.4.7. Typologies des bâtiments scolaires en Israël	43
II.5. Aperçus sur la scolarisation et l'évolution spatiale des bâtiments scolaires en Algérie	44
II.5.1. Les espaces d'enseignements avant la colonisation française	44

II.5.2. Les espaces d'enseignements pendant l'époque coloniale.....	45
II.5.3. La période postcoloniale.....	45
II.5.3.1. La première période : de 1962 à 1976	45
II.5.3.2. La deuxième période : de 1976 à 2008	45
II.5.3.3. La troisième période : de 2008 à nos jours.....	45
II.6. Architecture des établissements scolaires en Algérie	46
II.6.1. La programmation.....	46
II.6.2. La capacité d'accueil des établissements scolaires	46
II.6.3. La conception du bâtiment scolaire	47
II.6.3.1. Implantation	47
II.6.3.2. Flexibilité.....	48
II.6.3.3. Densité du plan de masse.....	48
II.6.3.4. Orientation	48
II.6.3.5. Hauteur des bâtiments	48
II.6.4. Les typologies selon la configuration spatiale du plan	49
II.6.5. Conception de la salle de cours	50
II.6.5.1. Forme et dimensions	50
II.6.5.2. Ouvertures	51
II.6.5.3. Revêtements.....	52
Conclusion	52

TROISIEME CHAPITRE : CONFORT THERMIQUE DANS LE BATIMENT ; PARAMETRES ET EVALUATION

Introduction.....	54
III.1. Le confort thermique dans les milieux scolaires	54
III.1. 1. Définition du confort thermique	54
III.1.2 Le confort thermique dans les milieux scolaires	55
III.1. 3. Impact de l'ambiance thermique sur les élèves	55
III.2. Facteurs affectant les conditions thermiques des bâtiments.....	56
III.2. 1. Paramètres liés aux conditions climatiques.....	56
III.2. 1. 1. Présentation des modes de transfert de chaleur	56
III.2. 1. 2. La température de l'air	56
III.2. 1. 3. L'ensoleillement	57
III.2. 1. 4. Le vent	57
III.2. 1. 5. L'humidité	58
III.2. 1. 6. Les précipitations	58
III.2. 2. Paramètres liés au cadre bâti	58
III.2. 2. 1. L'implantation	58
III.2. 2. 2. L'orientation.....	59
III.2. 2. 2.1. Impact de l'orientation sur le confort dans les salles de cours des bâtiments scolaires	60
III.2. 2. 3. La forme architecturale	60
III.2. 2. 4. La configuration spatiale du bâtiment	61

III.2. 2. 4.1. Impact de la forme et de la configuration spatiale sur les conditions thermiques dans les bâtiments scolaires	62
III. 2. 2. 5. Les surfaces vitrées	63
III.2. 2. 5. 1. Les surfaces vitrées dans les bâtiments scolaires	64
III.2. 2. 6. Les parois opaques.....	64
III.2. 2. 6.1. Effets de l'inertie thermique	65
III.2. 2. 6. 2. Effets de l'isolation thermique	66
III.2. 2. 7. Effets des protections solaires	68
III.2. 2. 7. 1. Classification des protections solaires selon leur mobilité.....	68
III.2. 2. 7. 2. Classification des protections solaires selon leur position	69
III.2. 2. 8. Effets de la couleur des surfaces	70
III.2. 2. 9. Effets de la ventilation naturelle.....	70
III.3. Spécificités des ambiances thermiques dans les bâtiments scolaires	71
III.3.1. L'importance des apports internes	71
III.3.2. L'occupation intermittente.....	71
III.3.3. L'importance du renouvellement d'air	72
III.3.4. La diversité des locaux	72
III.4. Facteurs affectant le confort thermique des occupants	72
III.4. 1. Les paramètres liés à l'ambiance thermique	72
III.4. 1.1. La température résultante	74
III.4. 1.2. La vitesse de l'air	74
III.4. 1.3. L'humidité relative	75
III.4. 1.4. Les conditions du confort liées à l'ambiance thermique dans une salle de cours	75
III.4. 2. Les paramètres du confort thermique liés aux occupants	76
III.4. 2.1. Le métabolisme	76
III.4. 2.2. L'habillement	76
III.4. 2.3. Le niveau d'adaptation	77
III.4. 2.4. L'aspect physiologique du confort thermique	78
III.4. 2.5. L'aspect psychologique du confort thermique.....	78
III.5. Évaluation du confort thermique	79
III.5. 1. Les indices thermiques	79
III.5.1.1. Les indices environnementaux simples	79
III.5.1.2. Les PMV et les PPD	80
III.5. 2. Evaluation du confort thermique par des enquêtes in situ	80
III.5. 3. Les outils graphiques d'évaluation du confort thermique.....	81
III.5. 4. Les outils numériques d'évaluation du confort thermique (logiciels de simulation)	82
Conclusion	82

QUATRIEME CHAPITRE : CHOIX ET ANALYSE BIOCLIMATIQUE DES CAS D'ETUDE ET PRESENTATION DE LA METHODOLOGIE D'INVESTIGATION

Introduction	84
IV.1. Présentation et étude climatique de la ville de Tizi-Ouzou	84
IV.1.1. Présentation et situation de la ville de Tizi-Ouzou	84
IV.1.2. Le climat de la région de Tizi-Ouzou	95
IV.1.3. Etude climatique de la ville de Tizi-Ouzou	85
IV.1.3.1. Ensoleillement et durée d'insolation	85
IV.1.3.2. Les températures de l'air	86
IV.1.3.3. L'humidité relative	86
IV.1.3.4. Le vent	87
IV.1.3.5. Les précipitations	87
IV.1.4. Synthèse	88
IV.2. Etude bioclimatique de la ville de Tizi-Ouzou	88
IV.2. 1. Application du digramme bioclimatique (psychrométrie)	88
IV.2. 1.1. Interprétation du diagramme bioclimatique	89
IV.2. 1.2. Les recommandations bioclimatiques du diagramme	89
IV.2. 2. Application de la méthode de Mahoney	90
IV.2. 2. 1. Synthèse des recommandations des tableaux de Mahoney	90
IV.2. 3. Synthèse	90
IV.3. Enquête sur les bâtiments scolaires à Tizi-Ouzou	92
IV.3. 1. Les objectifs de l'enquête	92
IV.3. 2. La méthodologie de l'enquête	92
IV.3. 3. L'analyse des résultats	93
IV.3. 3.1. Définition du corpus d'étude	93
IV.3. 3.2. Les critères d'étude des bâtiments scolaires	93
IV.3. 3.3. Le classement des bâtiments scolaires selon le critère de la configuration spatiale du plan	94
IV.3. 3.4. Les caractéristiques constructives, matériaux de construction et la composition de l'enveloppe	94
IV.4. Choix, présentation et analyse bioclimatique des bâtiments cas d'étude	95
IV.4.1. Le choix des cas d'étude	95
IV.4.2. La typologie de plan à coursive	95
IV.4.2.1. Lycée Rabah Stombouli (salles orientées Est/Ouest)	95
IV.4.2.2. Lycée Colonel Amirouche (salles orientées Nord/Sud)	96
IV.4.2.3. Analyse des caractéristiques architecturales des bâtiments cas d'étude de la typologie de plan à coursive	97
IV.4.2.3. 1. Morphologie et configuration spatiale des bâtiments	97
IV.4.2.3. 2. Caractéristiques des salles de cours	98
IV.4.3. La typologie de plan à corridor central	100
IV.4.3.1. CEM Babouche Saïd (orientations Nord et Sud)	100
IV.4.3.2. CEM Base 07 (orientations Est et Ouest)	101

IV.4.3.3. Analyse des caractéristiques architecturales des bâtiments cas d'étude de la typologie de plan à corridor central.....	102
IV.4.3.3. 1. Morphologie et configuration spatiale.....	102
IV.4.3.3. 2. Caractéristiques des salles de cours	102
IV.4.4. La composition de l'enveloppe et les matériaux de construction	106
IV.4.5. Synthèse et comparaison	107
IV.4.6. Equipements et dispositifs de confort dans les bâtiments cas d'étude.....	109
IV.5. Présentation et description du protocole d'investigation.....	110
IV.5. 1. Les campagnes de mesures	110
IV.5. 1. 1. Le matériel utilisé	110
IV.5. 1. 1.1. Etalonnage par comparaison du matériel de mesures.....	111
IV.5. 1. 1.2. Description des instruments de mesures de l'étalon.....	112
IV.5. 1. 1.3. Résultats de l'étalonnage	113
IV.5. 1. 2. Déroulement des campagnes de mesures.....	114
IV.5. 1. 2.1. Les paramètres mesurés	114
IV.5. 1. 2.2. Campagnes de mesures d'été	114
IV.5. 1. 2.3. Campagnes de mesures d'hiver	116
IV.5. 2. L'enquête par questionnaire	117
IV.5. 2. 1. La conception du questionnaire	117
IV.5. 2. 2. Objectifs du questionnaire	118
IV.5. 2. 3. Choix de l'échantillon	118
IV.5. 2. 4. Déroulement de l'enquête.....	119
IV.5. 2. 4.1. Déroulement de l'enquête en été.....	119
IV.5. 2. 4.2. Déroulement de l'enquête en hiver	119
IV.5. 3. Les difficultés rencontrées dans le travail d'investigation.....	119
Conclusion	120

CINQUIEME CHAPITRE : ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS D'INVESTIGATION

Introduction.....	122
V.1. Analyse et interprétation des résultats des campagnes de mesures	122
V.1. 1. Campagne de mesures d'été	122
V.1. 1. 1. Typologie de plan à coursive	122
V.1. 1. 1. 1. Salles orientées Nord/Sud : lycée Colonel Amirouche.....	122
V.1. 1. 1. 2. Salles orientées Est/Ouest : lycée Stombouli Rabah	124
V.1. 1. 2. Typologie de plan à corridor central	125
V.1. 1. 2.1. Salles orientées au Nord et au Sud : C.E.M Babouche Saïd	125
V.1. 1. 2.2. Salles orientées à l'Est et à l'Ouest : C.E.M Base 07	126
V.1. 1. 3. Synthèse.....	127
V.1. 2. Campagne des mesures d'hiver	128
V.1. 2. 1. Typologie de plan à corridor central.....	128
V.1. 2. 1.1. Salles orientées au Nord et au Sud : C.E.M Babouche Saïd	128

V.1. 2. 1.2. Salles orientées à l’Est et à l’Ouest: C.E.M Base 07	130
V.1. 2. 2. Typologie de plan à coursive.....	131
V.1. 2. 2. 1. Salles orientées au Nord/Sud : Lycée Colonel Amirouche ...	131
V.1. 2. 2. 2. Salles orientées à l’Est/Ouest : Lycée Stombouli Rabah	132
V.1. 2. 3. Synthèse.....	133
V.2. Analyse et interprétation des résultats de l’enquête par questionnaire.....	134
V.2.1. Déroulement du questionnaire et traitement des informations.....	134
V.2. 2. Analyse et interprétation des résultats de l’enquête d’été.....	134
V.2. 2.1. Typologie de plan à coursive	134
V.2. 2.1.1. Evaluation des paramètres de l’ambiance thermique.....	134
V.2. 3.1.2. Evaluation du confort thermique	137
V.2. 2.1.3. Amélioration de l’ambiance thermique.....	138
V.2. 2.1.4. Synthèse.....	139
V.2. 2.2. Typologie de plan à corridor central	140
V.2. 2.2.1. Evaluation des paramètres de l’ambiance thermique.....	140
V.2. 2.1.2. Evaluation du confort thermique.....	143
V.2. 2.2.3. Amélioration de l’ambiance thermique.....	144
V.2. 2.2.4. Synthèse.....	145
V.2. 3. Analyse et interprétation des résultats de l’enquête d’hiver	146
V.2. 3.1. Typologie de plan à corridor central	146
V.2. 3.1.1 Evaluation des paramètres de l’ambiance thermique.....	146
V.2. 3.1.2. Evaluation du confort thermique	149
V.2. 3.1.3. Nécessité du refroidissement	150
V.2. 3.1.4. Synthèse.....	150
Conclusion	151
CONCLUSION GÉNÉRAL.....	152
BIBLIOGRAPHIE	157
LISTE DES ILLUSTRATIONS	170
ANNEXES.	

Introduction générale

Introduction

Le confort thermique dans le bâtiment prend un grand intérêt vu son impact sur la qualité des ambiances intérieures, la santé et la productivité de l'occupant. Toutefois, les pratiques architecturales du vingtième et du début du vingt-et-unième siècle ont recours aveuglement à le satisfaire sans que la dimension environnementale ne soit intégrée dans la conception architecturale. Cela a engendré des impacts très lourds sur l'environnement, tant par une forte consommation d'énergie que par des rejets de gaz à effet de serre.

Le confort thermique dans les établissements scolaires représente un sujet de préoccupation majeure. Ces milieux accueillent une population en phase d'enseignement et d'apprentissage sur laquelle l'ambiance thermique peut avoir des conséquences non négligeables. Plusieurs recherches ont démontré que la réussite scolaire est fortement dépendante des conditions dans lesquelles les élèves y accèdent et sont pris en charge. Ainsi, en offrant un environnement, notamment thermique, confortable et de bonne qualité peut aboutir à des résultats positifs sur la motivation des apprenants et sur leurs rendements (Tebbouche H., 2010). La conception d'un bâtiment scolaire confortable d'une part et, soucieux de son environnement d'autre part, est un enjeu majeur dans toute politique éducative du fait qu'il a trait à la formation de l'individu et à son épanouissement. Par ailleurs, au-delà des gains économiques, la promotion de l'éducation au développement durable et l'éveil de la conscience environnementale chez les élèves constituent des avantages primordiaux.

L'Algérie s'est lancée depuis longtemps dans un programme ambitieux de réalisation des bâtiments scolaires. Si le système éducatif a accompli des progrès considérables sur le plan quantitatif, il n'en demeure pas moins que grand nombre de ces équipements sont construits sans réflexion à la qualité des ambiances intérieures et à leur contexte environnemental.

En effet, face à une demande importante d'infrastructures, l'Algérie a eu recours à la standardisation des constructions scolaires en proposant des schémas de plans types. Largement reproduites sur tout le territoire national, les typologies issues de cette stratégie ont négligé l'aspect qualitatif et les particularités climatiques de chaque région. L'importance des enjeux liés au secteur de l'éducation ainsi que celui de l'environnement et leurs poids dans le développement des sociétés comptent parmi les multiples raisons d'ordres scientifique et personnel qui nous ont motivés à l'étude du confort thermique dans ces typologies des

bâtiments scolaires. Ainsi, le présent travail de recherche se penche sur la problématique de la qualité de l'ambiance thermique dans les typologies les plus récurrentes des bâtiments scolaires dans le contexte climatique de la ville de Tizi-Ouzou. Afin de donner un aperçu sur le comportement thermique de ces bâtiments, une série des campagnes de mesures et une enquête par questionnaire sont effectuées à l'intérieur des salles de cours.

Problématique

« Avec les préoccupations grandissantes du développement durable, le secteur du bâtiment doit répondre à deux exigences primordiales : maîtriser les impacts de la consommation des énergies fossiles sur l'environnement extérieur et assurer des ambiances intérieures saines et confortables. Ainsi, une vision globale du confort thermique qui tient compte de sa pluridisciplinarité est indispensable » (Cantin R., Moujalled B., Guarracino G., 2005). Le confort thermique acquiert une dimension primordiale dans les établissements scolaires du fait qu'il entraîne une influence sur la vigilance intellectuelle, le degré de concentration, d'assimilation et le rendement des utilisateurs.

Pour assurer ce confort dans une démarche bioclimatique, un intérêt particulier doit être accordé à l'environnement dès la phase de la conception. Les bâtiments scolaires doivent être conçus en fonction des données climatiques locales et selon des dispositions intégrées à leurs contextes. Cela suppose que leurs typologies et caractéristiques architecturales par rapport aux mêmes conditions climatiques obéissent aux mêmes règles de conception et se différencient quand le contexte climatique change. En Algérie, face aux besoins importants d'infrastructures, le ministère de l'éducation nationale a eu recours à la standardisation de l'architecture scolaire en proposant des schémas de plans types à construire partout sur le territoire national, négligeant de ce fait, les caractéristiques climatiques de chaque région. Dès lors, des questionnements s'imposent :

- ✚ Quelles sont les caractéristiques architecturales et les typologies des bâtiments scolaires les plus répandues dans la circonscription de la ville de Tizi-Ouzou?**
- ✚ Soumises aux différentes orientations, quelle est la qualité de l'ambiance thermique procurée par ces typologies dans son contexte climatique ?**

Hypothèses

Afin de répondre à la problématique, ce travail de recherche est construit sur les hypothèses suivantes :

- ✚ Les bâtiments scolaires à Tizi-Ouzou sont régis par des plans types, reproduits sur tout le territoire national. Ils présentent des caractéristiques architecturales communes.
- ✚ La construction des bâtiments scolaires n'est régie que par des préoccupations quantitatives. Il en résulte des défaillances au niveau de l'intégration de la conception architecturale de ces bâtiments à leurs contextes climatiques et des carences au niveau du confort thermique.

Objectifs

Le travail s'inscrit dans une optique globale d'étude et de recherche sur l'aspect qualitatif des ambiances thermiques dans les bâtiments scolaires. Les principaux objectifs sont :

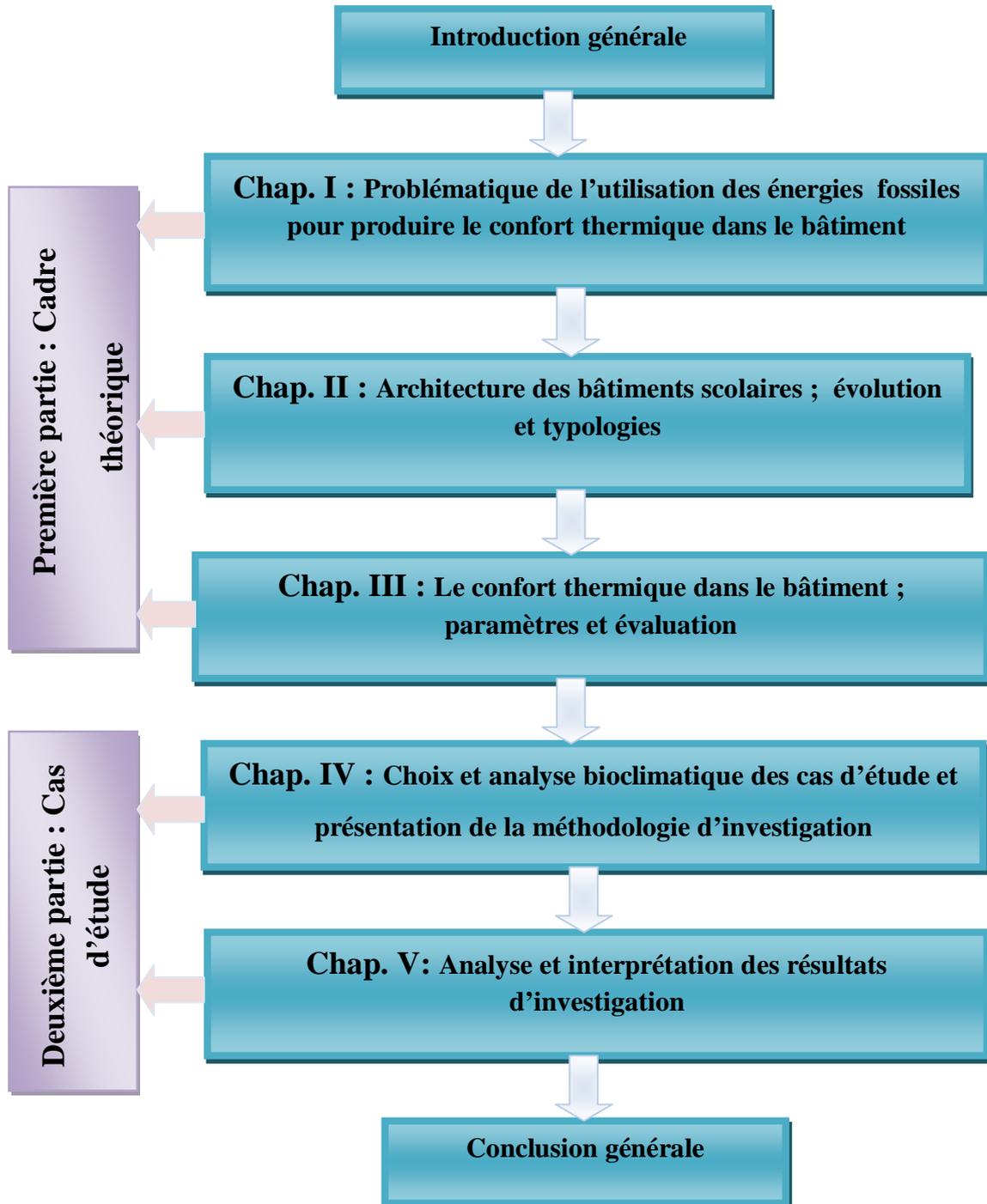
- ✚ Dresser un inventaire des typologies des bâtiments scolaires et leurs caractéristiques sur la ville de Tizi-Ouzou.
- ✚ Evaluer les paramètres de l'ambiance thermique de ces typologies dans le contexte climatique et bioclimatique de la ville de Tizi-Ouzou.

Méthodologie de recherche

Afin de répondre aux objectifs, l'étude est structurée en deux parties :

- Un cadre théorique** : il consiste en une recherche bibliographique et documentaire ayant pour objectifs de cerner et de comprendre tous les éléments théoriques de base en rapport avec le sujet de recherche. Il sera objet d'aborder principalement l'impact engendré par l'utilisation des énergies fossiles dans le cadre bâti pour assurer le confort thermique ; l'architecture des bâtiments scolaires et son évolution et enfin la notion de confort thermique et ses méthodes d'évaluation.
- Un cadre expérimental** : en s'appuyant sur l'ensemble des informations récoltées, nous consacrons la deuxième partie à évaluer expérimentalement le confort thermique dans les typologies les plus répandues des bâtiments scolaires dans le contexte climatique de la ville de Tizi-Ouzou. Cette partie se développe en plusieurs étapes. La première consiste à effectuer une enquête sur les typologies des bâtiments scolaires de la ville de Tizi-Ouzou et à analyser les cas d'étude d'un point de vue bioclimatique. La deuxième partie est expérimentale, elle est basée sur l'usage de deux outils d'investigation : les mesures in situ et l'enquête par questionnaire auprès des élèves. La dernière étape du travail consiste en l'analyse et l'interprétation des résultats des mesures et du questionnaire.

Structure du mémoire



PREMIERE PARTIE : CADRE THEORIQUE

**Premier chapitre : Problématique de l'utilisation des
énergies fossiles pour produire le confort thermique
dans le bâtiment**

Introduction

Les problématiques énergétiques et environnementales prennent en ce début du XXI^{ème} siècle un intérêt particulier. Sur le plan énergétique, le déséquilibre entre une production fondée sur des ressources minérales limitées issues de l'écorce terrestre, ajouté à une consommation en forte croissance, menacent leur abondance et favorisent des tensions de tout ordre. Sur le plan environnemental, les activités humaines exploitent les ressources procurées par la biosphère terrestre et rejettent les résidus de leur production sous forme de déchets dans la nature (Thiers S., 2008). Le monde du XXI^{ème} siècle est donc confronté à un double défi : d'abord, le problème de la sécurité d'approvisionnement énergétique ensuite, la lutte contre le changement climatique.

Le poids du cadre bâti dans ces problématiques est très lourd. Il sera objet dans ce chapitre de se pencher, dans un contexte plus large, sur la genèse de notre problématique à savoir, l'impact engendré par l'utilisation des énergies fossiles dans le cadre bâti pour assurer le confort thermique. Ce chapitre présente en premier lieu les conséquences de l'utilisation des énergies fossiles dans le bâtiment. En deuxième lieu, il aborde les besoins énergétiques pour assurer le confort dans les bâtiments scolaires en Algérie qui restent largement dépendants des carburants fossiles.

I.1. Le contexte énergétique mondial

I.1.1. Une demande énergétique mondiale en augmentation constante

L'énergie est le moteur du développement des sociétés modernes. Elle joue un rôle vital dans notre quotidien en intervenant dans de nombreux domaines d'activités domestiques et économiques. En ordre de grandeur, on utilise en moyenne 11 fois plus d'énergie primaire pour nous chauffer, 8 fois plus pour notre consommation d'électricité, 10 fois plus pour l'industrie et 11 fois plus pour le transport (Peuportier B., 2003).

Par ailleurs, la consommation énergétique mondiale est dominée par les combustibles fossiles que sont le pétrole, le charbon et le gaz. En 2013, leur part dans le mix énergétique mondial a atteint 87% ; dont 33% de pétrole, 24% de gaz et 30% de charbon (fig. I.1). Selon l'Agence Internationale de l'Energie (IEA¹, 2014), les ressources fossiles constitueront encore dans les 30 prochaines années l'essentiel de l'approvisionnement énergétique mondial et continueront de surmonter le secteur de l'énergie.

¹ International Energy Agency

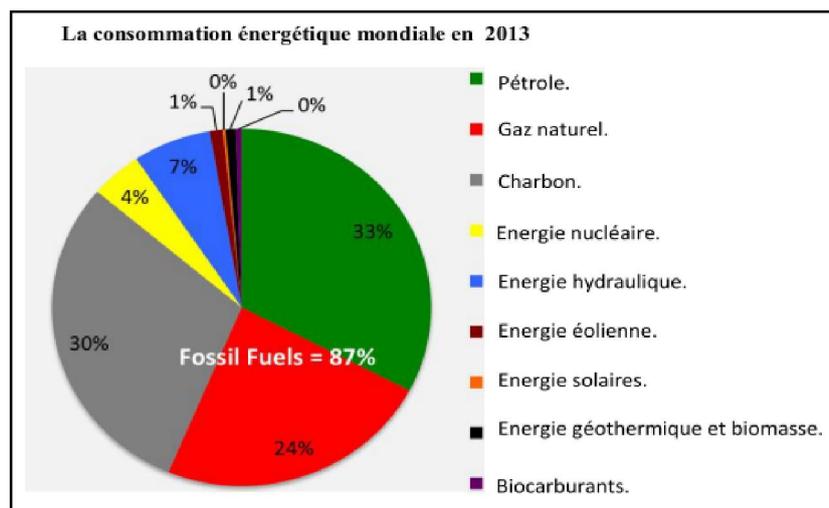


Figure I.1 : répartition de la consommation mondiale selon les différentes formes d'énergies en 2013.
Source : (Euan M., 2014)

L'évolution continue de la population mondiale, le confort recherché par les différentes populations, conjugués à la forte croissance économique ont engendré une augmentation permanente et considérable de la consommation d'énergie. Cette dernière a augmenté en 2013 de 2.3% par rapport à l'an 2012. Elle a atteint 12730.4 Mtep² pour une population mondiale de 7,07 milliards habitants (BP, 2014). En effet, devant une demande de plus en plus accrue, la consommation énergétique n'a pas cessé d'augmenter depuis la révolution industrielle.

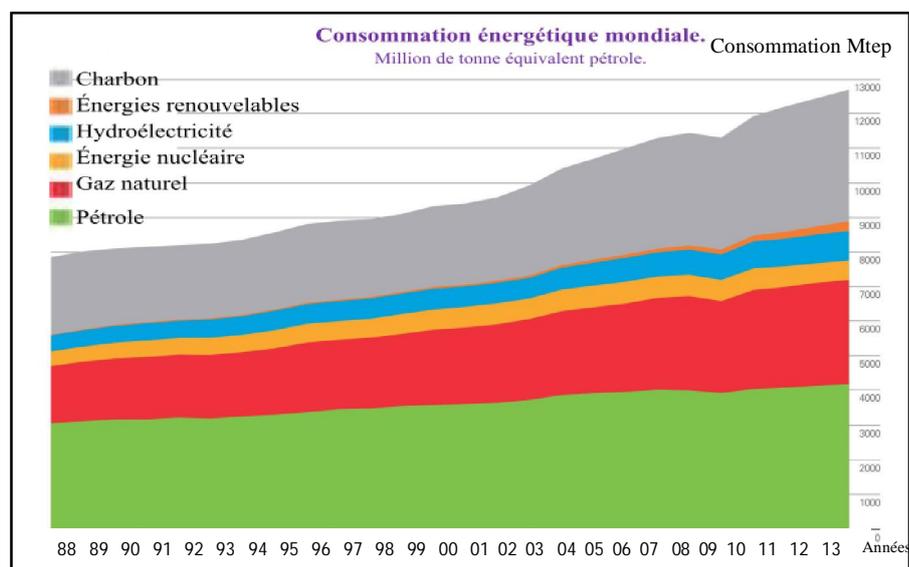


Figure I.2 : Croissance de la consommation énergétique mondiale entre 1988 et 2013.
Source : (BP, 2014.)

²Mtep : Millions de tonnes équivalent pétrole, une tep est l'énergie contenue dans une tonne du pétrole, soit 1165 litre de fioul. Source : (Alain Liebard, André de Herde, 2005).

La société BP³, dans son rapport *Bp Energy Outlook 2030* (BP, 2011), a constaté que la consommation mondiale d'énergie primaire a augmenté de 45% au cours de ces 20 dernières années. Elle estime qu'elle devrait croître de 39% entre 2011 et 2030 par une croissance moyenne de 1,7% par année afin d'accompagner la croissance économique et démographique mondiale.

I.1.2. La consommation énergétique mondiale par secteur d'activité

Trois principaux secteurs partagent la consommation énergétique mondiale à savoir : l'industrie avec une consommation de 51.7% en 2012, les transports avec 26.6% et le bâtiment (l'ensemble résidentiel et tertiaire) avec 21.7% (fig. I.3).

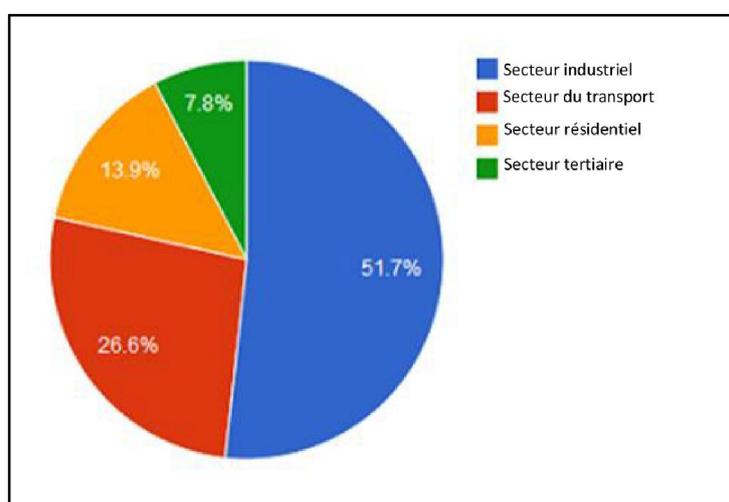


Figure I.3 : la consommation énergétique mondiale par secteur en 2012.

Source: (Thomas Net News, 2014)

I.1.3. Le secteur du bâtiment gros consommateur d'énergie

Le monde subit aujourd'hui une croissance démographique et urbaine galopante. En 2014, la population citadine dépasse la moitié de la population mondiale ; elle est estimée à 54%. Celle de 2050 atteindra 66 %, selon les prévisions de l'organisation des nations unies (United Nations, 2014). Le phénomène urbain a des répercussions importantes sur de nombreux secteurs socio-économiques des populations. Celui du bâtiment est particulièrement le plus affecté par son ampleur. Ainsi, de nombreux territoires seront urbanisés et /ou densifiés, de nouvelles infrastructures, équipements et logements seront construits pour contenir cette expansion et assurer les services domestiques et tertiaires de la vie urbaine. Néanmoins, la construction et l'exploitation des biens immobiliers notamment

³ La sociétéBP, nommée British Petroleum Company : est une compagnie britannique de recherche, d'extraction, de raffinage et de vente de pétrole fondée en 1909. Source : (Wikipédia, 2014. BP entreprise).

dans les territoires urbains consomment des quantités importantes d'énergie si bien que les citoyens utilisent 75 % des ressources naturelles de la planète (Nation Unies, 2012).

Par ailleurs, la plupart des populations mondiales connaissent depuis la fin du vingtième siècle une amélioration significative du bien être sociale et de qualité de vie. Dès lors, le cadre bâti va à son tour, grâce aux progrès scientifique et technique, se mettre au service de ce nouveau mode de vie en offrant plus de confort et de commodités. Cela multiplie l'usage et l'importance de l'énergie dans la vie de la société moderne d'où une surconsommation énergétique.

Sous ces prétextes, le secteur du bâtiment est confronté à une croissance qualitative et quantitative importante au préjudice d'une consommation énergétique flagrante. Ce secteur représente aujourd'hui plus d'un cinquième de la consommation mondiale. Les projections de l'EIA⁴ estiment qu'elle augmentera de 50 quadrillions de Btu⁵ dans les quarante prochaines années, passant de 81 quadrillions Btu en 2010 à près de 131 quadrillions Btu en 2040 (U.S. Energy Information Administration EIA, 2013). Le résidentiel occupe une part de 65 % de cette consommation. Les prévisions estiment qu'elle a atteint 52 quadrillions de Btu en 2010 et devra s'élever à 82 quadrillions de Btu en 2040. Le tertiaire occupe 35% par une consommation de 29 quadrillions de Btu en 2010 et 49 quadrillions de Btu en 2040 (cf fig. I.5).

⁴EIA , Energy Information Administration : L'Agence d'Information sur l'Énergie , est une agence créée par le Congrès des États-Unis en 1977, sa mission est de fournir des données et des prévisions sur les réserves d'énergie, la production, la consommation, la distribution, les prix, les technologies et tous les éléments connexes sur le plan international économique et financier. Source : (Wikipédia, 2014. Energy Information Administration).

⁵Btu : Le British Thermal Unit (abrégié en Btu ou BTU) est une unité anglo-saxonne d'énergie définie par la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température d'une livre anglaise d'eau d'un degré °F à la pression constante d'une atmosphère. Source : (Wikipédia, 2014. British thermal unit).

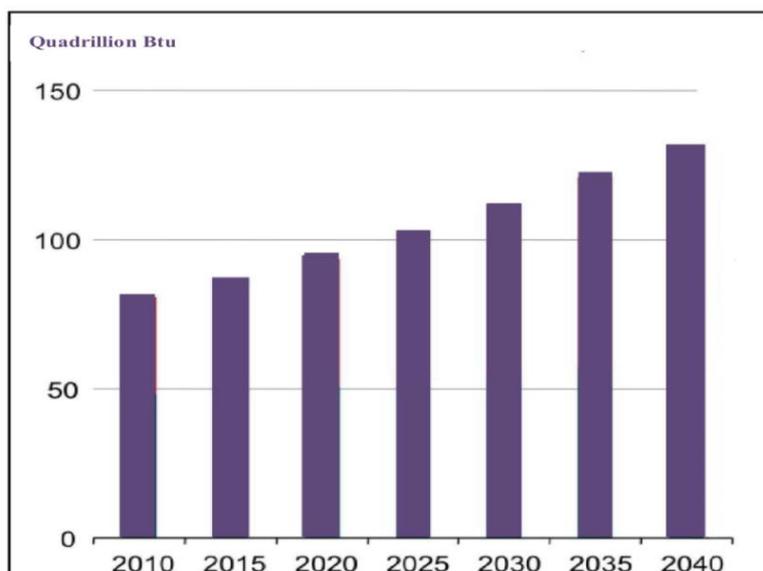


Figure I.4 : Perspectives d'évolution de la demande en énergie du secteur du bâtiment dans le monde.

Source: graphe établi à partir des données tirées de (U.S. Energy Information Administration 2013)

I.1.4. Un héritage bâti très énergivore

Les générations précédentes nous ont légué un héritage bâti très énergivore. En effet, une part importante du parc immobilier mondial était édifiée à une période dont aucune réglementation thermique n'encadrerait sa construction. La pratique de l'architecture du vingtième et du début du vingt-et-unième siècle est tellement conditionnée par des impératifs technologiques que les aspects liés au climat, confort, ambiances, environnement et dimension humaine sont rarement intégrés dans la conception des bâtiments (Hammou Z., 1996). À cela, s'ajoute la faible vitesse d'évolution de ce secteur. Les bâtiments ont en général une durée de vie de nombreuses décennies et parfois pour plus d'un siècle et c'est au cours de leur phase d'exploitation qu'ils entraînent des dépenses énergétiques importantes.

Omniprésent encore, cet héritage est aujourd'hui largement responsable des émissions de gaz à effet de serre et de la surconsommation d'énergies non renouvelables.

I.1.5. Les usages énergétiques dans le bâtiment

Les usages énergétiques dans le secteur du bâtiment se divisent en deux. La phase hors utilisation : elle représente en moyenne de 10 à 20 % de l'utilisation totale. Elle comprend l'énergie dépensée pour l'acquisition des matières premières, la fabrication des matériaux, la construction et la démolition (Cheng C. et al., 2008). La deuxième phase est celle de l'exploitation du bâtiment ; elle utilise les 80 à 90% restants. C'est pendant cette phase que les

plus grandes quantités d'énergies sont dépensées pour créer un environnement intérieur confortable par la climatisation et l'éclairage.

Le gaz et l'électricité occupent une place prépondérante dans l'utilisation énergétique des constructions. Ces deux ressources sont employées selon 80 % d'usages thermiques (chauffage, eau chaude, cuisson) et 20 % d'usages spécifiques de l'électricité (éclairage, électroménager, audiovisuel). D'après la (fig. I.5) l'électricité, qui est essentiellement d'origine thermique, représente en moyenne environ 50% pour le secteur tertiaire et 40% pour le résidentiel. Le reste de la consommation est partagée entre les combustibles fossiles que sont : le gaz naturel, le charbon et le pétrole.

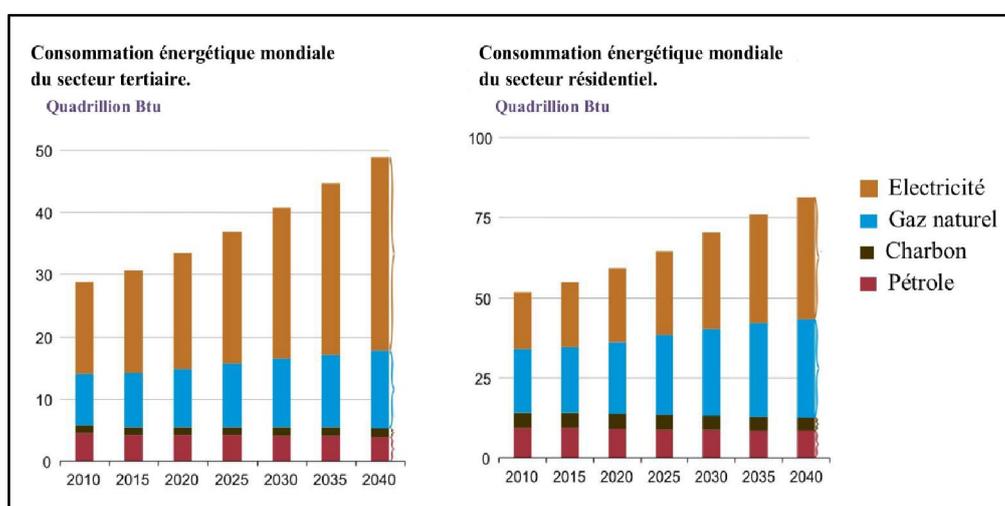


Figure I.5: perspectives d'évolution de la demande en énergie du secteur résidentiel et tertiaire dans le monde. **Source:**(U.S. Energy Information Administration EIA, 2013)

I.1.6. L'utilisation de l'énergie fossile dans le secteur du bâtiment : problème et solution

Une grande part de la consommation mondiale du secteur du bâtiment se rend au profit des énergies fossiles. Or, la consommation intensive de ces dernières est la source des nuisances environnementales auxquelles est soumise la planète. À ce propos, Mendler et Odell affirment que « les bâtiments et la construction contribuent directement et indirectement à nos grands problèmes environnementaux. Les bâtiments sont de terribles consommateurs et générateurs de déchets, et le processus industriel utilisé dans la manufacture des matériaux des bâtiments et des équipements contribue aussi aux déchets et à la pollution» (Mendler S., Odell W., 2000).

En outre, par sa recherche d'un équilibre entre le bâtiment et son milieu, Alain Liebard et André De Herde soulignent que l'architecture bioclimatique apparaît comme l'une des réponses pour réduire la consommation énergétique et donc les émissions de CO₂, en profitant

des apports bénéfiques de l'environnement particulièrement le soleil comme source d'énergie inépuisable, renouvelable, et non polluante tout en respectant les particularités socioculturelles des occupants (Liebard A., De Herde A., 2005).

Grâce aux principes de l'architecture bioclimatique, le secteur du bâtiment est aujourd'hui apprécié de façon beaucoup plus favorable et se positionne dorénavant comme un acteur clé pour parvenir à résoudre les inquiétants défis environnementaux. Les économies d'énergie dans ce domaine peuvent représenter 50 % des dépenses actuelles.

I.2. Problématiques énergétiques mondiales

I.2.1. Vers l'épuisement des ressources d'énergies fossiles

Les énergies fossiles couvrent aujourd'hui environ 87 % de la consommation énergétique mondiale. Cette dernière a connu une croissance accélérée pendant les 40 dernières années en passant de près de 5000 Mtep en 1970 à 12 000 Mtep en 2010. Elle a été multipliée par un facteur de plus de 2,4 en 40 ans. (Jacques P., Claude M., 2012). Accentuée par la croissance de la population et celle de l'économie, la demande énergétique mondiale continuera de croître dans les 40 prochaines années. L'AIE estime que la demande pourra augmenter de 45 % d'ici 2030 (EDF, 2013).

Au rythme actuel d'exploitation, la situation des réserves de pétrole, du gaz naturel et du charbon sera préoccupante si d'autres gisements ou sources d'extraction ne seront pas découverts. Les prévisions de la production (fig. I.6) montrent que ces ressources ne sont pas abondantes à long terme. Le pétrole sera le premier à atteindre son pic de production pour tous les pays, suivi par le gaz naturel et le charbon. À ce propos, Meritet estime que «le temps des énergies fossiles est compté : les réserves sont estimées à 47 ans de consommation pour le pétrole, 60 ans pour le gaz et 167 ans pour le charbon » (Meritet S., 2010). Ainsi, en un peu plus d'un siècle et demi, les réserves d'énergies fossiles connaîtront la pénurie si le monde ne parvient pas à découvrir d'autres sources d'extraction. Des échéances de plusieurs dizaines d'années peuvent sembler lointaines mais les effets de l'épuisement des ressources se font sentir bien avant. Au niveau économique, du fait de l'augmentation des prix et au niveau politique, du fait de la concurrence vers d'approvisionnement ce qui entraîne des conflits dans les pays producteurs qui sont principalement ceux du Golfe (Peuportier B., 2008).

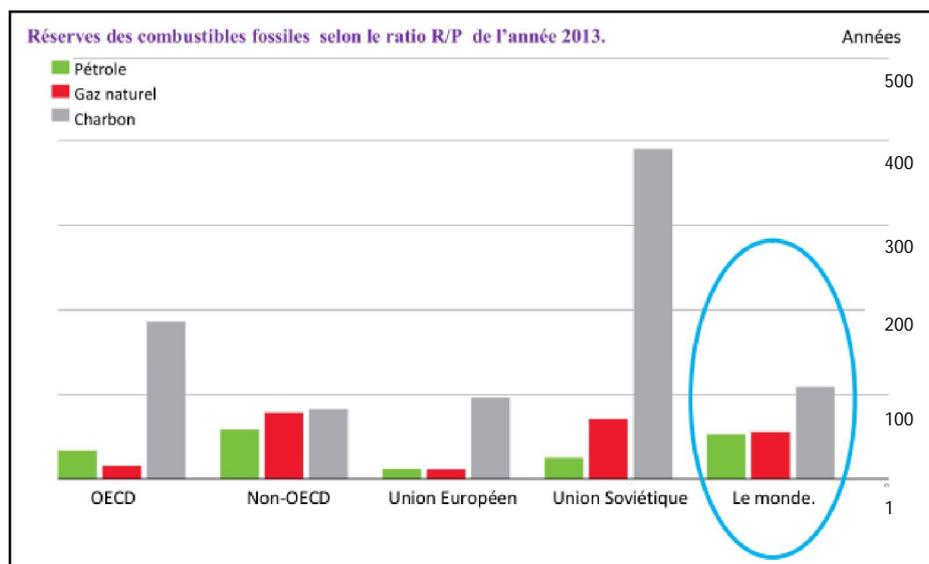


Figure I.6 : estimations des réserves des combustibles fossiles selon le ratio R/P ⁶ de l'année 2013.

Source : (BP, 2014)

Par sa forte demande énergétique, le secteur du bâtiment est considéré comme l'un des acteurs de la pénurie des hydrocarbures alors qu'il sera l'un des plus affecté par ce phénomène. L'énergie est un besoin permanent dans les constructions et cela pour assurer une ambiance confortable par la climatisation et l'éclairage. Sachant que les énergies fossiles sont en constante diminution, la question de leur pouvoir à subvenir à ces besoins se pose.

L'ère d'une énergie abondante et extrêmement bon marché est derrière nous. La fin des combustibles fossiles est annoncée, elle l'a été même depuis leur découverte. Si auparavant l'augmentation des réserves a globalement couvert la forte demande et sa croissance, la situation future connaîtra un déséquilibre flagrant entre l'offre et la demande. Une prise de conscience d'une consommation rationnelle et le recours aux énergies renouvelables s'avère donc plus qu'une urgence pour faire face au caractère non durable des énergies fossiles.

I.2.2. Le réchauffement climatique

Le changement climatique est la conséquence de l'accumulation des gaz à effet de serre⁷ dans l'atmosphère terrestre. Il est considéré comme l'un des défis majeurs auxquels est

⁶R/P : Réserves divisées par la production actuelle. Le ratio R/P sert à estimer la durée de vie d'un gisement, il s'exprime en années afin d'éviter l'utilisation de beaucoup de chiffres et unités de mesures qui présentent des ambiguïtés notamment aux non spécialistes.

⁷ Gaz à Effet de Serre ou (GES): Selon la convention sur les changements climatiques, s'entend «les constituants gazeux de l'atmosphère, tant naturels qu'anthropiques, qui absorbent et réémettent le rayonnement infrarouge. Les gaz à effet de serre visés par le protocole de Kyoto sont : le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), l'oxyde nitreux (N₂O), les hydro fluorocarbones (HFC), les hydrocarbures perfluorés (PFC) et l'hexafluorure de soufre (SF₆).

confrontée la planète au XXI^{ème} siècle. Le climat a un impact sur toutes les composantes de notre environnement. Il détermine la gestion de l'eau, la qualité de l'air, la consistance des sols et la survie des espèces. Ces données influent directement la production de nos ressources alimentaires et nos conditions de vie (Charbonniaud J., dir., 2014).

Naturellement, la terre qui reçoit le rayonnement solaire émet vers l'espace un rayonnement tellurique de nature infrarouge qui lui est partiellement renvoyé par les gaz à effet de serre. Grâce à ce phénomène, la température moyenne à la surface du globe est voisine de 15 °C alors qu'elle serait de près de -18°C s'il n'y avait pas de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Cependant, leur forte concentration a provoqué une augmentation progressive de la température globale moyenne. En effet, l'atmosphère est devenue plus opaque aux rayonnements infrarouges qui sont alors renvoyés plus difficilement vers l'espace et réfléchissent leur chaleur vers la terre provoquant par là le réchauffement climatique.

Par ailleurs, le développement économique des pays industrialisés s'est construit sur la production et la consommation croissantes d'énergies d'origine essentiellement fossile alors qu'elles rejettent dans l'atmosphère d'énormes quantités de GES. Depuis le début de l'ère industrielle, la concentration de CO₂ a connu une augmentation de 30 %, l'oxyde d'azote a augmenté de 15 % et celle de méthane a été multipliée par 2,45 (Le Déaut J.-Y.-M., Kosciusko-Morizet N., 2006).

Le climat est en train de changer, il est démontré que la responsabilité incombe aux humains qui, à leur tour, subiront de lourdes conséquences. Ce phénomène devra causer des modifications aux échelles régionale et planétaire de la température, des précipitations et d'autres variables du climat. Selon le rapport d'un forum humanitaire, le réchauffement climatique tue 300 000 personnes par an (Vedura Copyright, 2014).

Les émissions de CO₂ occupent la part du lion et représentent trois-quarts des émissions mondiales de GES. Au cours de la période 1990-2035, les rejets de CO₂ passent de 43 Gt à près de 80 Gt (fig. I.7). Ces milliards de tonnes de dioxyde de carbone ajoutés à l'atmosphère vont y rester pendant des siècles. Dans ce contexte, Michel Jarraud⁸ affirme que "Même si nous pouvions stopper du jour au lendemain toute nouvelle émission, la concentration actuelle continuera à avoir des effets pendant des siècles." (Perrin E., 2012).

⁸Michel Jarraud, secrétaire général de l'OMM, Organisation météorologique mondiale qui s'exprimait en 2011 face au nouveau record atteint par la concentration de CO₂ dans l'atmosphère.

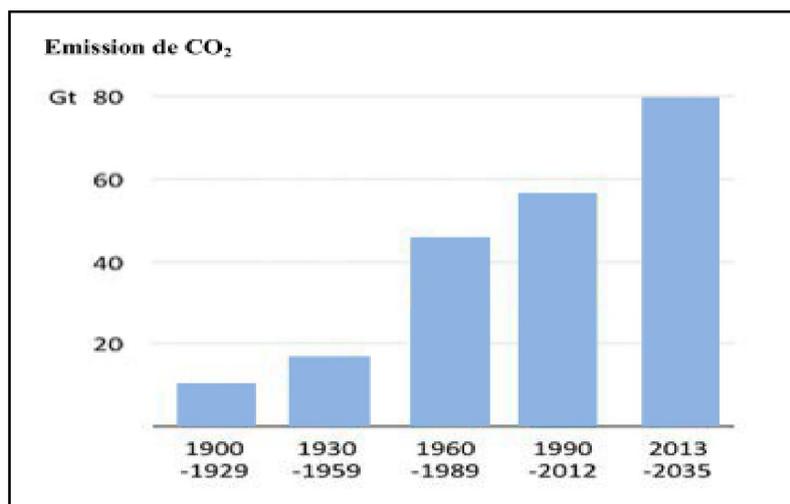


Figure I.7: perspectives de l'évolution des émissions de CO₂ dans le monde.
Source: (IEA, 2013)

I.2.3. Le secteur du bâtiment, gros émetteur de gaz à effet de serre

Le secteur du bâtiment est considéré comme l'un des plus importants émetteurs de dioxyde de carbone avec 20.4 % de rejets ; dont 6.40 % sont directs et 12 % sont indirects (fig. I.8). En 2010, ce secteur est responsable d'environ 10 Gt d'émissions à l'échelle mondiale. Les rejets directs du bâtiment sont dus à l'utilisation d'énergies primaires (fioul, gaz, charbon) pour le chauffage. Tandis que les émissions indirectes sont dues à l'utilisation d'électricité.

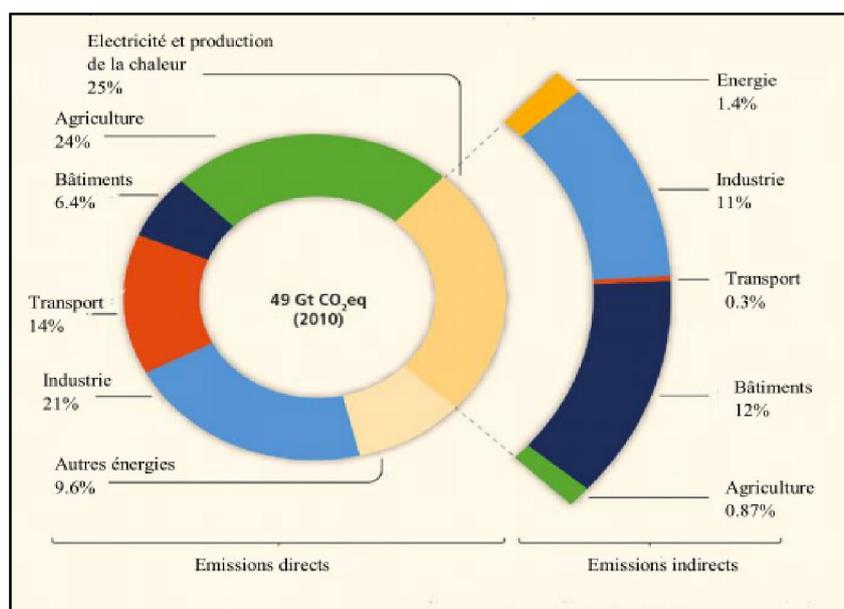


Figure I.8: répartition mondiale des émissions de CO₂ par secteur de production en 2010.
Source:(IPCC United Nations, 2014)

L'évaluation du cycle de vie des constructions révèle que plus 80 % des émissions de GES⁹ ont lieu pendant la phase de leurs exploitations (IPCC, United Nations, 2014). Ces rejets se répartissent en 7 postes d'utilisations finales (fig. I.9). Les émissions sont engendrées en grande partie de la consommation d'électricité et du gaz pour le chauffage, la ventilation et l'éclairage. Fort de ces constats, la réduction de la consommation énergétique et les émissions de CO₂ pendant la phase d'utilisation des bâtiments constituent un levier majeur pour lutter contre le changement climatique. Le respect des concepts de l'architecture écologique qui minimise le recours aux énergies non renouvelables constitue l'issue de la problématique environnementale liée au secteur du bâtiment.

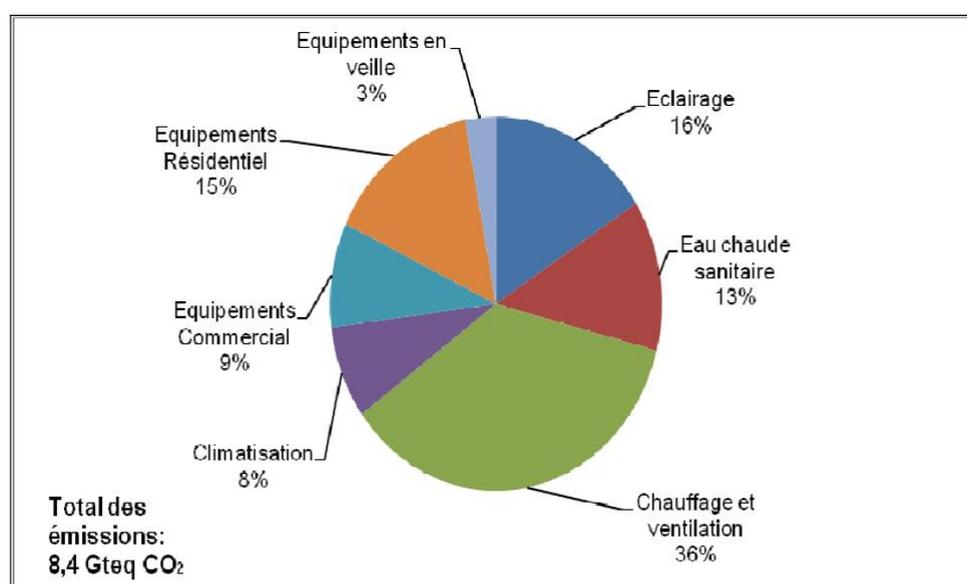


Figure I.9 : répartition d'émissions de GES du secteur du bâtiment par utilisation d'énergie en 2002.
Source : (Clodic S., 2009)

1.3. La lutte contre le réchauffement climatique

Dans un contexte de raréfaction des énergies fossiles et de lutte contre le changement climatique, un nombre de conférences intergouvernementales ont eu lieu depuis la fin des années 1980. S'ajoutant à des éléments de preuves scientifiques de plus en plus nombreux, ces conférences ont contribué à sensibiliser la communauté internationale. La préoccupation climatique a vu la première conférence mondiale en 1979 à Stockholm. Cette réunion a placé les questions écologiques au rang des préoccupations internationales et a marqué le début d'un dialogue sur les changements climatiques. Un ensemble de conférences se sont ensuite succédées, parmi les principales figurent :

⁹ Gaz à Effet de Serre.

1.3.1. Le sommet de la terre de Rio

La conférence des nations unies sur l'environnement et le développement de Rio De Janeiro s'est tenue du 3 au 14 juin 1992. Ce sommet est considéré le plus important rassemblement de tous les temps des chefs d'états. Plusieurs textes importants ont été adoptés à l'occasion de cette conférence : conventions sur le climat et la biodiversité, textes sur la forêt, sur la désertification...etc. Le sommet s'est principalement conclu par l'adoption d'un programme d'actions pour le XXI^{ème} siècle appelé l'Agenda 21 et la signature de la convention de Rio.

1.3.2. La convention-cadre de Rio

Cette convention a déterminé les droits et les responsabilités des états afin de préserver la planète et garantir son développement durable. Un des principaux aboutissements de cette déclaration est défini dans l'article 2 : « stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique » (Nations Unies, 1992.). Il était destiné à mobiliser les pays industrialisés du Nord afin qu'ils prennent des mesures d'atténuation de leurs propres émissions de GES ; mais aussi, qu'ils aident les pays du Sud à s'adapter aux effets néfastes du changement climatique induit par les émissions historiques des pays du Nord.

1.3.3. Les engagements de Kyoto

La conférence de Kyoto a abouti à l'adoption d'un protocole le 10 décembre 1997. Ce dernier constitue une pièce maîtresse dans la lutte contre le réchauffement climatique en traduisant sous forme d'engagements chiffrés, quantitatifs et juridiquement contraignants les accords internationaux. Ayant une vocation plus opérationnelle par rapport au sommet de Rio, ce protocole dispose d'objectifs obligatoires sur les émissions de gaz à effet de serre pour les pays économiquement forts qui l'ont accepté. Ainsi, les pays industrialisés s'engagent à réduire le total de leurs émissions d'au moins 5 % par rapport au niveau de 1990 au cours de la période allant de 2008 à 2012 et doivent soumettre avant la fin de la période d'engagement un rapport sur leurs émissions.

1.3.4. Les accords de Marrakech

Si les accords de Kyoto ont abouti à la fixation des objectifs de réduction de GES d'une part et des principes permettant de les atteindre d'autre part, les accords Marrakech ont abouti à mettre en place un organe chargé de contrôler le respect des obligations découlant du protocole, dit « Comité d'observance ». Ce dispositif sera chargé de sanctionner le non-respect

avéré des principales obligations du protocole et d'aider les parties à respecter leurs engagements (Mission interministérielle de l'effet de serre, 2002).

1.3. 5. Le sommet de Copenhague

La conférence de Copenhague s'est tenue en 2009. L'objectif était de rassembler la communauté internationale autour du futur régime de lutte contre le changement climatique pour la période 2013-2020 afin de prolonger le protocole de Kyoto qui prendra fin en 2012. Néanmoins, cette conférence est qualifiée comme étant un grand échec. Aucun objectif quantitatif n'est inscrit ; aucun calendrier du programme d'aides financières et technologiques aux pays en voie de développement n'a été mis en place.

La conférence s'est terminée par l'adoption d'un texte juridiquement non contraignant qui affirme la nécessité de limiter le réchauffement planétaire à 2°C.

I.4. Contribution du secteur du bâtiment dans l'efficacité énergétique

I.4.1. Le secteur du bâtiment, un levier de réduction d'émissions de GES

La réduction des émissions de GES est une action primordiale tant d'un point de vue écologique pour lutter contre le réchauffement climatique que d'un point de vue économique pour réduire la dépendance aux énergies fossiles. D'après l'AIE, d'ici 2030, l'amélioration de l'efficacité énergétique devrait représenter plus de 50 % des réductions d'émissions de CO₂ pour stabiliser sa concentration à 450 ppm¹⁰ dans l'atmosphère (Clodic S., 2009). Le secteur du bâtiment, par sa grande opportunité d'exploiter directement et indirectement les ressources renouvelables offertes par la nature, est considéré comme étant une cible principale de l'amélioration de l'efficacité énergétique. D'autant plus qu'il représente aujourd'hui presque un tiers de la consommation mondiale d'énergie et des émissions associées.

Selon l'initiative de construction durable des Nations Unies, avec les technologies disponibles aujourd'hui, la consommation d'énergie dans les bâtiments tant nouveaux qu'existants pourrait être réduite jusqu'à 50 %. (UNEP, 2009). Une autre étude de Harvey conclut que ces économies d'énergie pourraient atteindre 50 à 75 % avec des mesures telles que l'amélioration des enveloppes et des systèmes de construction. (Harvey L.D.D., 2009).

¹⁰ ppm : partie par million : Il s'agit de l'unité communément utilisée pour exprimer les concentrations de polluants lorsque ceux-ci sont faibles. 450 ppm de CO₂ signifient que pour 1 million de molécules dans l'air, 450 seront des molécules de CO₂.

La figure I.10 identifie les gisements de réduction d'émission de GES par secteur économique à trois niveaux de prix du carbone : 20 et 50 et 100 dollars par tonne équivalent de CO₂ rejeté à l'horizon 2030. Le bâtiment se démarque des autres secteurs par son fort potentiel d'atténuation des émissions, soit supérieur à tous les autres avec 5,5 à 6 Gt CO₂-eq/an). En outre, le coût du potentiel de mitigation des bâtiments se trouve pratiquement similaire pour les trois prix de carbone. Cela peut être un avantage considérable pour les pays en voie de développement.

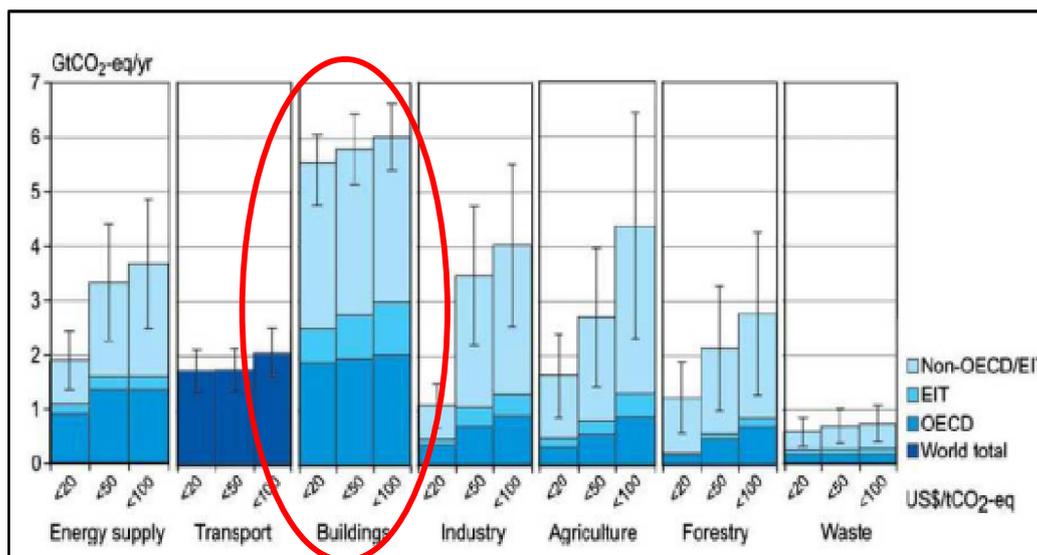


Figure I.10: estimations des potentiels économiques de réduction d'émissions de GES à l'horizon 2030.

Source : (UNEP, 2009)

I.4.2. L'efficacité énergétique des bâtiments, un acteur clé face aux problématiques énergétiques

Depuis la moitié du XIX^{ème} siècle, l'évolution rapide des procédés techniques a libéré les architectes des contraintes climatiques et les a menés à se concentrer sur les aspects structurels et formels. De ce fait, l'énergie était malmenée par des comportements et des pratiques d'utilisations irresponsables pour assurer le confort sans se soucier des impacts environnementaux que cela va engendrer. Conscient de l'importance de la problématique énergétique liée aux bâtiments, il est primordial de revoir la façon dont ce secteur évolue et se mobiliser de plus en plus pour maîtriser sa consommation énergétique et les émissions associées.

L'efficacité énergétique se réfère à la réduction de la consommation d'énergie sans provoquer une diminution du niveau de confort ou de la qualité du service dans les bâtiments. (Sénit C.A., 2008). La maîtrise de la consommation énergétique des bâtiments est un

processus complexe qui nécessite une approche particulière et globale. Elle doit être entamée depuis la phase de la conception et poursuivie tout au long de la vie de la construction. Dans ce sens, le rapport final de PREBAT¹¹ (PREBAT, 2007) note : « en construction neuve ou en réhabilitation, un bâtiment efficace énergétiquement est avant tout un concept d'ensemble saisissant dans un même mouvement l'architecture, le climat, l'enveloppe et les équipements ». Afin d'arriver à une réalisation efficiente, une triade énergétique devrait être assurée : la réduction de la consommation d'énergie ; l'utilisation efficace d'énergie fossile et l'emploi des énergies renouvelables. (PREBAT 2007). Ceci requiert deux types de leviers complémentaires : l'efficacité énergétique passive et l'efficacité énergétique active (Schneider Electric, 2011).

L'efficacité énergétique passive fait référence à l'exploitation directe des énergies naturelles. Elle passe par une conception architecturale adaptée à son environnement ; notamment, à travers une orientation optimale qui permet d'optimiser les apports solaires en hiver et de les réduire en été ; par le bon choix de la forme et de la composition de son enveloppe pour assurer le moins de déperditions thermiques.

L'efficacité énergétique active permet d'ajuster l'ensemble des équipements au plus près des besoins réels des usagers à l'aide des systèmes intelligents de contrôle, de régulation et d'automatisme. Cela permet de réduire d'un quart à un tiers les quantités de CO₂ émises dans le bâtiment, soit environ 88 millions de tonnes de CO₂/an. (Eco-électrique, 2012)

En outre, le recours aux énergies renouvelables dans une démarche d'efficacité énergétique active permet d'obtenir une partie de l'énergie nécessaire au bâtiment. Les installations implantées dans des endroits stratégiques de la construction captent l'énergie fournie pour la récupérer sous forme d'électricité ou de chaleur.

I.5. Le contexte énergétique en Algérie

La politique économique en Algérie s'appuie quasi totalement sur les ressources fossiles. Le secteur de l'énergie assure les deux fonctions vitales de l'économie du pays. Il s'agit d'approvisionner l'appareil de production socio-économique en énergie pour son fonctionnement ; et d'assurer son financement par les revenus des exportations des produits pétroliers et gazeux. La consommation nationale d'énergie a atteint 53,3 Mtep en 2013, elle a connu une croissance de 5,4 % par rapport à l'année 2012. (MEM, 2014). En effet, cette consommation n'a pas cessé de s'accroître reflétant l'augmentation du niveau de vie de la

¹¹Programme de Recherche et d'Expérimentation sur l'Energie dans le Bâtiment.

population et du confort qui en découle ainsi que la modernisation des activités tertiaires et la croissance des industries.

Un tel modèle, de totale dépendance aux ressources réputées épuisables et non renouvelables, n'est pas tenable ; il ne peut pas assurer l'avenir énergétique et économique d'un pays. « Au rythme de production actuelle, les réserves seraient consommées approximativement en vingt-cinq ans, soit à l'horizon 2040, s'il n'y a pas de nouvelles découvertes d'hydrocarbures et si les gisements sont exploités dans les mêmes conditions que celles prévalant actuellement » (Econostrum.info, 2014). Les prévisions énergétiques établies à l'horizon 2020 montrent que la production d'énergie primaire suffira à peine à couvrir la demande nationale et les engagements en matière d'exportation.

Cette double contrainte d'une envolée de la demande domestique et de la capacité de production fléchissante, doit renforcer les convictions de changer le modèle actuel de la consommation de l'énergie.

I.5.1. Consommation finale par secteur et par types d'énergies en Algérie

Le bilan de la consommation énergétique nationale de l'année 2013 fait ressortir une prédominance du secteur des ménages et autres (y compris agriculture et tertiaire), dont la part est passée de 41 % en 2012 à 43 % en 2013. Le secteur des transports vient en deuxième position avec 36 % et celui de l'industrie en dernier lieu avec 21 % (MEM, 2014).

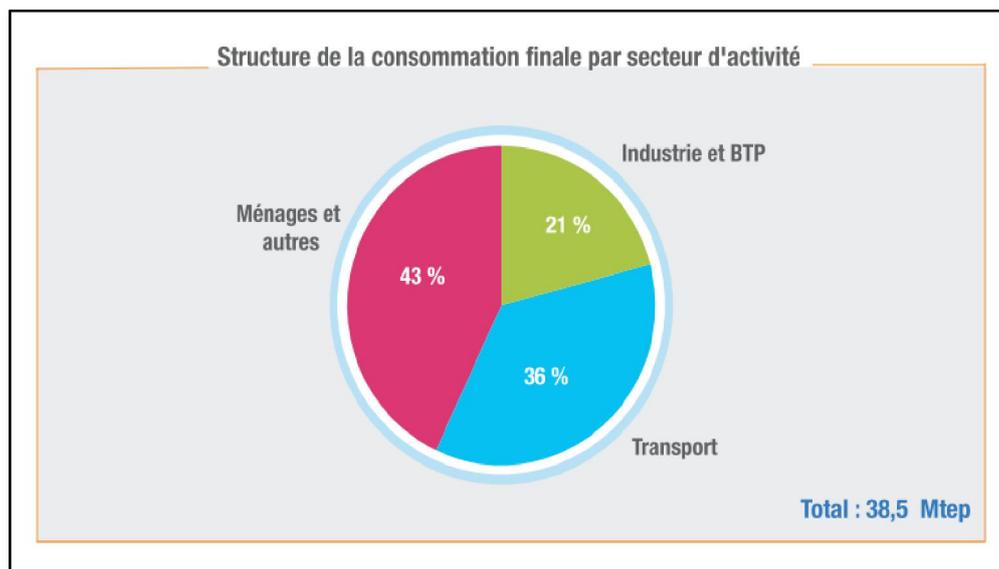


Figure I.11 : Consommation d'énergie finale par secteur d'activité en Algérie en 2013.

Source (MEM, 2014)

La consommation est dominée par le gaz naturel à 35 % qui a connu une augmentation de 6 % par rapport à l'an 2012 ; suivi par les produits pétroliers à 30 % et en dernier lieu l'électricité à 28 %. (MEM, 2014). La répartition de la consommation finale par produit et par secteur d'activité montre que le secteur du bâtiment est à l'origine de la consommation de 77 % du GPL, 67 % du gaz naturel et de 62 % l'électricité (MEM, 2014).

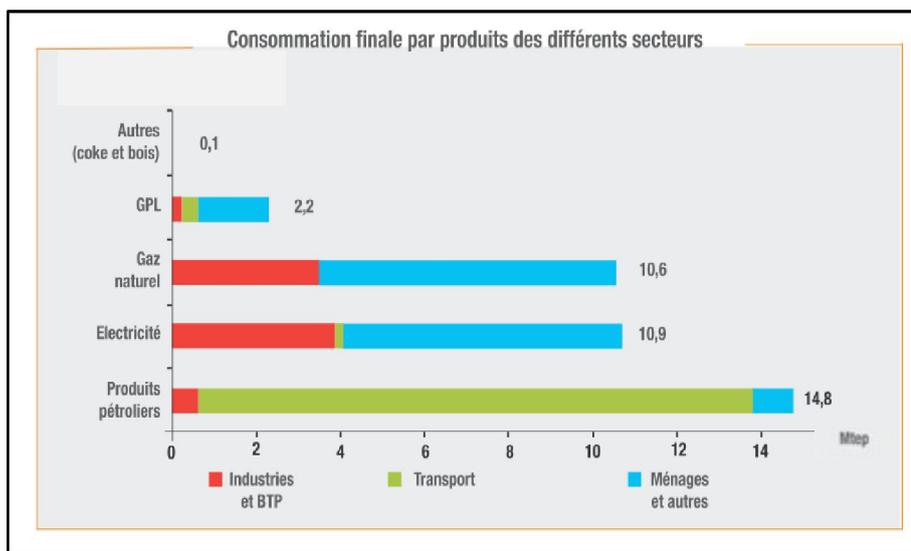


Figure I.12 : la consommation finale par produit et par secteur d'activité.
Source (MEM, 2014)

I.5.2. La consommation énergétique du secteur du bâtiment en Algérie

En 2013, le secteur ménages et autres (fig. I.11) est le plus énergivore avec pas moins de 43 % de la consommation totale. Ce secteur connaît une perpétuelle augmentation atteignant 16,4 Mtep et reflétant une forte hausse de 9 % par rapport à l'an 2012. Le secteur agricole ne représente que 1.5 % avec une consommation de 248 Mtep ; quant au reste (ménages et tertiaire) il représente les 39.5 % restants avec une consommation de 16177 Mtep (MEM, 2014). Ces statistiques indiquent qu'il est urgent de rééquilibrer la consommation notamment dans le secteur du bâtiment.

En effet, la relation entre la construction et son environnement climatique a été négligée en Algérie. L'augmentation illimitée de l'offre d'énergie relativement à la demande ainsi que les faibles coûts ont entraîné des gaspillages énormes de ces ressources. Ainsi, les constructions aux performances énergétiques médiocres couplées à une utilisation d'énergie non maîtrisée ont engendré une consommation très importante. Il est important de remplacer l'architecture dans une autre dimension de durabilité qui doit concilier plus que jamais les

aspirations des individus et des collectivités dans une pratique qui prend aussi en compte l'intérêt des générations futures. (Genet P., 2007).

I.5.3. Émissions de GES en Algérie

En 2013, les émissions mondiales de CO₂ par personne et par an étaient de 5,1 tonnes de CO₂. En Algérie, elles sont de 3,7 tonnes pour une émission totale de 143 millions de tonnes. Les rejets de CO₂ ont connu une nette augmentation de 16 % par rapport à 2010 (CDER, 2014). Les émissions sont dues principalement à des secteurs en forte relation avec celui des bâtiments, à savoir la combustion de l'énergie fossile pour le chauffage, la production de ciment pour la construction et la production électrique.

L'Algérie a ratifié la convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques en 1993 et a également signé le protocole de Kyoto en 2005. Elle a montré ainsi sa volonté de contribuer à la lutte contre le réchauffement climatique.

I.6. L'énergie et le confort dans les bâtiments scolaires en Algérie

I.6.1. Les bâtiments scolaires en Algérie

L'Algérie connaît depuis une plus d'une vingtaine d'années un développement intense dans la construction des bâtiments publics. Le secteur de l'éducation nationale occupe la première position par le nombre important de bâtiments scolaires réalisés. Entre 1999 et 2008, le nombre d'infrastructures a atteint 2 149 projets. En 2014, le total des établissements scolaires du pays s'élève à 25 496 dont : 18 273 écoles primaires, 5171 collèges et 2052 lycées. (Ministère de l'éducation nationale, 2014).

I.6.2. Utilisation de l'énergie fossile pour le confort des bâtiments scolaires en Algérie

Un bâtiment scolaire doit répondre aux exigences qui sont liées à sa destination. Les exigences peuvent être de natures et de degrés différents : confort acoustique, hygrothermique, éclairage, pureté de l'air, accessibilité, sécurité...etc. Certaines de ces exigences ne sont pas discutables comme le taux d'oxyde de carbone dans l'air et celles relatives au confort thermique (Weckstein M., Salagnac J.L., 2006).

Pour assurer ce confort, le secteur de l'éducation utilise environ 8 % de la consommation énergétique du secteur tertiaire en Algérie en 2010 (fig. I.13). En effet, l'urgence de satisfaire une demande de plus en plus accrue en matière d'infrastructures a occulté les besoins qualitatifs. Ainsi, les performances énergétiques et environnementales des constructions

n'étaient pas suffisamment intégrées aux processus de conception et de construction. Ceci a conduit à de grandes pressions sur les ressources énergétiques fossiles pour assurer le confort.

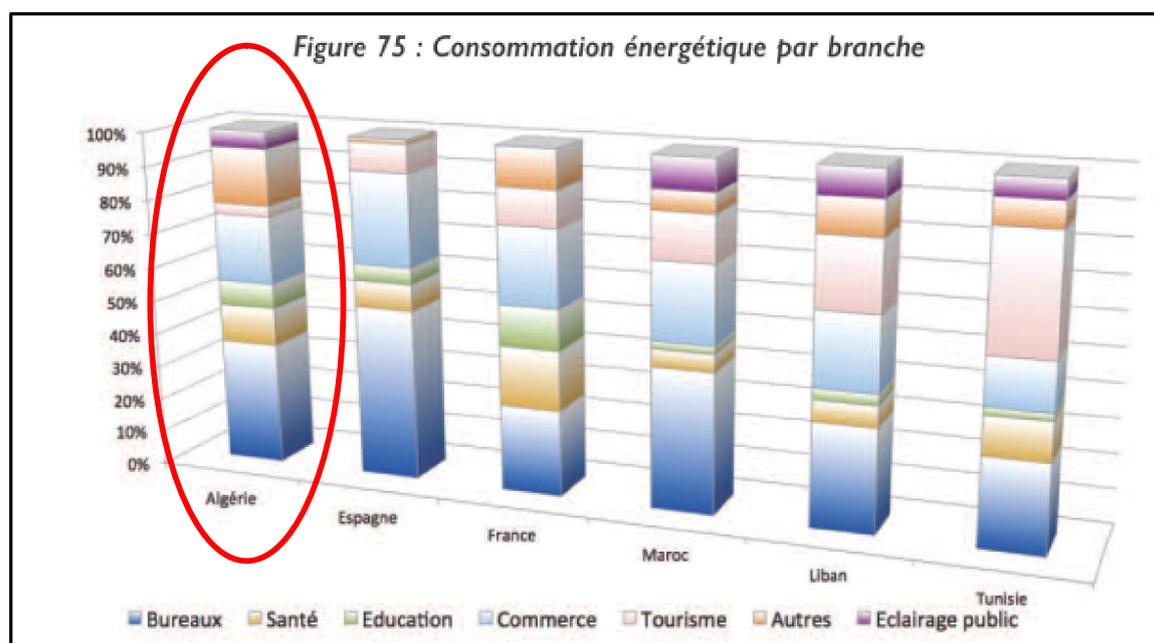


Figure I.13 : la consommation énergétique par branche en Algérie et dans quelques pays méditerranéens dans le secteur tertiaire.

Source : (Enerdata, 2014)

I.6.3. Principaux postes consommateurs d'énergies fossiles dans les bâtiments scolaires en Algérie

L'énergie fossile est employée principalement dans les bâtiments scolaires pour le chauffage, le rafraîchissement et l'éclairage. Toutefois, en raison des progrès technologiques, on assiste à la croissance et la multiplication des besoins énergétiques.

I.6.3.1. Le chauffage

Le chauffage des bâtiments scolaires a pour rôle d'assurer une température intérieure de confort en hiver. Selon les prescriptions du guide des constructions scolaires proposées par le ministère de l'éducation nationale, le chauffage sera assuré par tous procédés conforme à la réglementation en matière de sécurité et d'hygiène. Celui-ci devra en outre permettre d'obtenir une température voisine de 18 °C à l'intérieure de la salle. (Ministère de l'éducation nationale, 1982).

Le chauffage central par circulation d'eau chaude est le procédé le plus utilisé dans les bâtiments scolaires en Algérie. Les chaudières doivent être alimentées par le gaz partout où

cela est possible. Dans le cas contraire, on utilisera le mazout. (Ministère de l'éducation nationale, 1971) .Ce système consiste à distribuer de la chaleur dans plusieurs salles de cours au moyen d'appareils multiples reliés à une source unique. Le procédé peut être vu comme un ensemble de trois sous-systèmes : la production (la chaudière), la distribution (les canalisations) et l'émission (corps de chauffe : radiateurs).

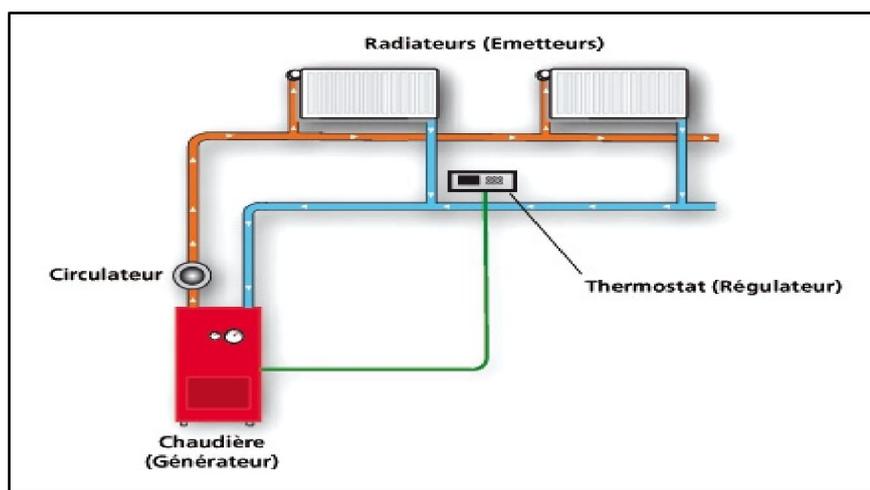


Figure I.14 : schéma simplifié d'un chauffage central.

Source :(Canal Blog, 2013)

I.6.3.2. L'éclairage

L'éclairage artificiel dans les bâtiments scolaires est destiné pour une utilisation supplémentaire diurne en cas d'insuffisance d'éclairage naturel. Sa conception est en fonction de nombreux facteurs : apport de lumière du jour, couleurs et facteurs de réflexion des parois des classes...etc. Selon les prescriptions du guide des constructions scolaires (Ministère de l'éducation nationale, 1982), l'éclairage artificiel sera assuré par des points lumineux disposés sur 2 circuits donnant un éclairement de 120 lux au niveau des tables d'élèves et 200 lux au niveau du tableau. Les installations d'éclairage comprennent généralement : des lampes ; des luminaires pour diffuser la lumière et protéger les lampes ; et des systèmes de commande d'allumage et d'extinction.

I.6.3.3. Le rafraîchissement

Les systèmes de rafraîchissement sont pratiquement absents dans les bâtiments scolaires en Algérie, à l'exception des régions du Sud, étant donné qu'ils ne sont pas occupés pendant la période estivale.

Pour le minimum des bâtiments équipés, le système de rafraîchissement le plus répandu est le système décentralisé. Il s'agit d'appareils de climatisation individuelle qui sont utilisés pour le refroidissement mais peuvent également assurer le chauffage.

Conclusion

A la lumière de l'analyse présentée dans ce chapitre, il est aisé de conclure que la situation énergétique et environnementale du XXI^{ème} siècle est très critique. Les problématiques relatives aux changements climatiques et à l'épuisement des ressources énergétiques fossiles sont à l'heure actuelle un défi majeur.

Le secteur du bâtiment a un impact grandissant sur ces préoccupations. La croissance démographique et la recherche d'un confort généralisé, conjugués à l'inadaptation des constructions à leurs contextes climatiques, ont fortement contribué à renforcer les problématiques énergétiques. Ainsi, « si la première fonction du bâtiment est de protéger l'homme des agressions extérieures de son environnement, nous en sommes pourtant arrivés aujourd'hui au stade où il faut protéger l'environnement des hommes et de leurs constructions » (Cao M. L., 2009). Une revue bibliographique présentée dans ce chapitre fait ressortir que la consommation énergétique mondiale du secteur du bâtiment est de l'ordre de 21 % ; les émissions de CO₂ associées ont atteint 20 %. Or, il est reconnu que la production de dioxyde de carbone, due à l'utilisation des carburants fossiles, est la cause majeure du réchauffement climatique. Le contexte énergétique national ne fait pas exception. L'utilisation des carburants pour assurer le confort thermique dans les constructions occupe une part considérable dans la consommation nationale.

Par ailleurs, le secteur du bâtiment bien qu'il ait une part non négligeable à la fois sur les plans énergétiques et environnementaux, il présente un fort potentiel d'atténuation des conséquences, voire d'inversement des tendances, mais qui reste largement inexploité. D'après un rapport du programme des nations unies pour l'environnement, 50 % de la consommation d'énergie pourrait être évitée par une conception architecturale intégrée à son environnement et par la mise en œuvre de normes plus ambitieuses pour la construction et la gestion de l'énergie dans les bâtiments. (UNEP, 2009). Ainsi, les techniques d'intégration de la composante énergétique dans le bâtiment puisées des principes de l'architecture bioclimatique contribuent fortement à la réduction des consommations d'énergies primaires et de réduire les impacts environnementaux associés.

Deuxième chapitre : Architecture des bâtiments scolaires ; évolution et typologies

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.

II.1. Architecture des bâtiments scolaires

Les établissements scolaires désignent l'ensemble des bâtiments collectifs destinés à la scolarisation des enfants : écoles maternelles, écoles primaires, collèges et lycées. 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.

II.2. Évolution spatiale des bâtiments scolaires

L'école fût pendant longtemps une pratique qui n'avait pas d'espace réservé. En effet, l'enseignement se déroulait simplement là où se trouvait le maître. Dans l'Antiquité, Platon et ses élèves n'avaient besoin que d'un jardin.

II.2.1. 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).

II.2.2. 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 model 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).

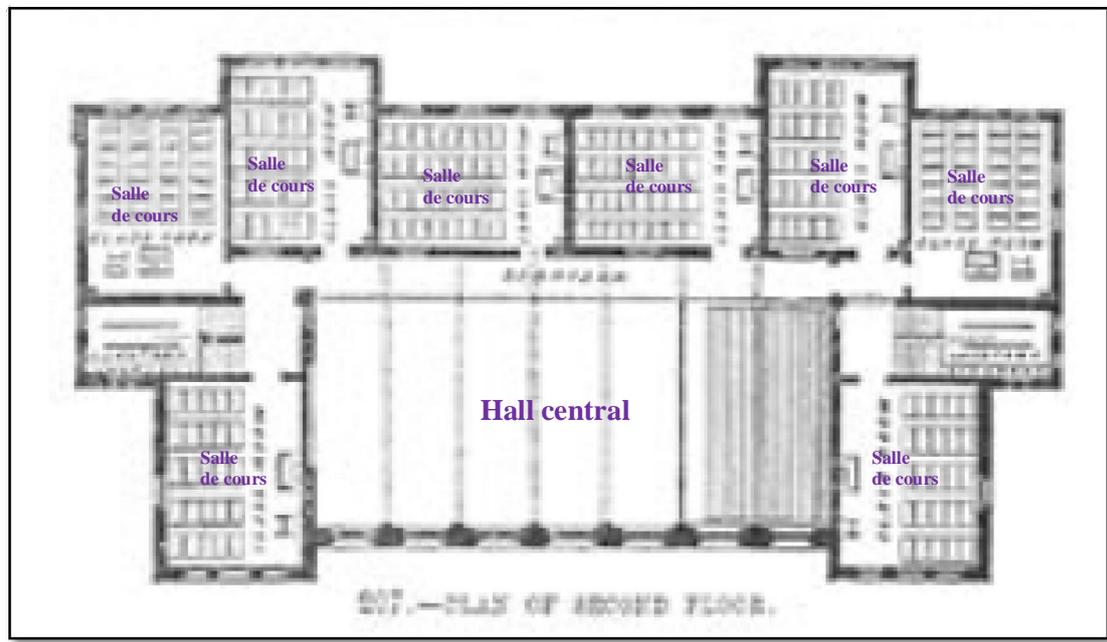


Figure II.1 : plan d'une école à modèle Prussien.

Source : (Foster S. et al., 2004).

II.2.3. 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.



Figure II.2: façade d'un bâtiment scolaire à typologie Heitmatstil.
Source : (Foster S. et al., 2004).

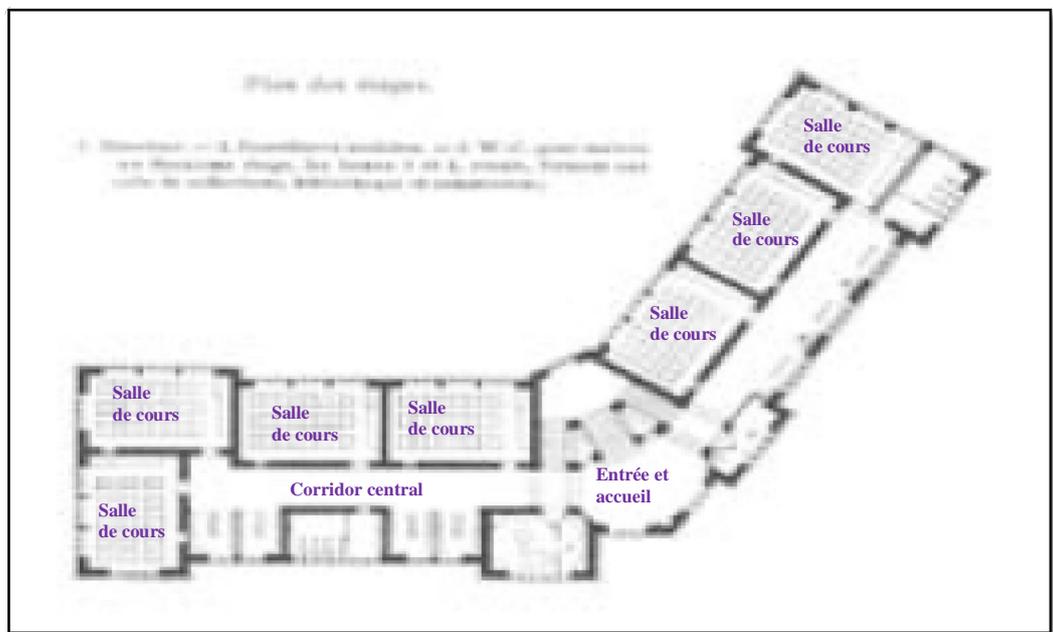


Figure II.3: plan d'un bâtiment scolaire à typologie Heitmatstil.
Source : (Foster S. et al., 2004)

II.2.4. 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 II.4 : l'école de plein air de Vidy, Lausanne, 1925.

Source : (Foster S. et al., 2004)

II.2.5. 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. 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.

II.2.7. 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).

II.2.8. 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.

II.2.9. Quelle architecture scolaire pour demain?

Selon Bruno Marchand¹, les tendances qui ouvrent la voie de l'école de demain sont premièrement : la disparition de la salle de classe rectangulaire car l'école de demain n'aura vraisemblablement plus besoin de classes. Dans certains pays la tendance est de les prolonger dans le couloir et de les faire communiquer entre elles. Deuxièmement, la réversibilité : les bâtiments scolaires seront conçus pour de multiples usages, il sera possible de changer leur fonctions sans toucher à l'ensemble.

Les nouvelles écoles auront le souci d'adapter l'architecture aux pédagogies et à l'usage des TICS². Il faut résoudre les problèmes d'ergonomie des lieux de travail, réfléchir aux

¹Professeur d'architecture à l'EPFL (École polytechnique fédérale de Lausanne) et spécialiste de l'architecture scolaire.

²TICS : Technologies de L'information et de la Communication.

questions de la lumière, l'acoustique, la chaleur et de la sécurité. Ces écoles seront des lieux de vie, de formations, de documentations et d'échanges ; elles seront ouvertes toute l'année. (Foster S. et al., 2004).

II.3. La typologie architecturale des bâtiments scolaires

II.3.1. Définition de la typologie architecturale des bâtiments

L'analyse typologique est l'étude des caractères spécifiques des types d'édifices et leur classification selon plusieurs critères (dimensionnels, fonctionnels, distributifs, constructifs, esthétiques...etc.). Selon Schneekloth L. et Franck K. (1994)., le terme «typologie» en architecture est utilisé dans le sens d'une classification des types spatiaux, de modèles, prototypes, ou formes primaires d'édifices. Panerai P., appréhende le processus typologique à travers trois phases principales : la définition du corpus, le classement préalable et l'élaboration des types. (Sriti L., 2013).

II.3.1.1. La définition du corpus

Il s'agit de définir ce que l'on veut étudier. Deux opérations doivent être effectuées: d'une part, mettre en évidence le choix du niveau d'étude et d'autre part, déterminer l'échantillon d'étude. Celui-ci dépend du problème posé et des moyens d'investigations disponibles (temps, personnes...etc.). L'échantillon d'étude peut concerner un ensemble d'édifices d'un quartier, une ville, plusieurs villes,...etc.

II.3.1.2 Le classement préalable

Les bâtiments étudiés sont décrits de façon à mettre en évidence les caractéristiques qui les distinguent ce qui permettra d'établir des critères. Ainsi, des regroupements par familles d'objets qui offrent les mêmes réponses à une série de critères sont effectués. (Sriti L., 2013). Les critères seront revus et affinés jusqu'à arriver à classer les bâtiments suivant les différentes familles, ce classement est un premier groupement qui va permettre d'élaborer les types.

II.3.1.3. Élaboration des types

Un type sera construit sur la base des propriétés communes des bâtiments appartenant à la même famille lors du classement préalable. Le bâtiment qui rend compte avec fidélité de toutes les propriétés caractérisant le type sera nommé exemple-type et sa description est recommandée pour illustrer le type dégagé. L'ensemble des propriétés non communes marquent les variations sur le type.

II.4. État de l'art sur l'étude typologique des bâtiments scolaires selon leurs formes et configurations spatiales

La typologie architecturale des bâtiments scolaires repose sur une classification à plusieurs niveaux d'une série de bâtiments obéissant aux mêmes caractéristiques relatives à des critères prédéfinis. Notre intérêt porte sur une classification des bâtiments scolaires selon le critère de la configuration spatiale du plan. Autrement dit, le mode de composition, d'organisation et d'imbrication des salles de cours entre elles et la forme générale que fait ressortir cette composition.

Il sera objet de connaître les différentes configurations spatiales des bâtiments scolaires et de situer le contexte de l'architecture scolaire en Algérie par rapport à un contexte international. Bien qu'elle ne reflète pas le riche langage de l'architecture scolaire, la classification des typologies a été identifiée sur la base d'une recension des études effectuées sur le sujet et met l'accent sur les typologies les plus récurrentes.

II.4.1. Typologies des bâtiments scolaires à Genève

Aziza A., dans une recherche sur les typologies des bâtiments scolaires dans la ville de Genève distingue trois principaux critères typologiques de classification : le critère distributif, le critère constructif et le critère stylistique. (Aziza A., 2004). Dans ce qui suit, nous nous intéressons à la classification des bâtiments scolaires selon le critère distributif qui correspond à la configuration spatiale des salles de cours. Quatre schémas ont été définis.

a) Schéma linéaire

C'est le modèle le plus répandu dans les constructions scolaires et dont dérivent plusieurs formes. Il repose sur une distribution en ligne droite des salles de cours sur toute la longueur du bâtiment. Deux types peuvent être distingués du schéma linéaire.

✚ **Le modèle linéaire à distribution latérale (plan à cursive) :** il s'agit d'une juxtaposition linéaire des salles de cours desservies latéralement par une cursive. Les salles de cours prennent généralement une forme carrée ou rectangulaire et présentent une double orientation. (Fig. II.5).

✚ **Le modèle linéaire à distribution centrale (plan à corridor central) :** la composition est dotée d'un couloir central linéaire distribuant de chaque part et d'autre des salles de cours. Ces dernières ne disposent de fenêtres que d'un seul côté. Le couloir peut être en chicane, dans ce cas, la distribution est alternée entre latérale et centrale et les espaces de circulation bénéficient donc d'un éclairage naturel ponctuel.

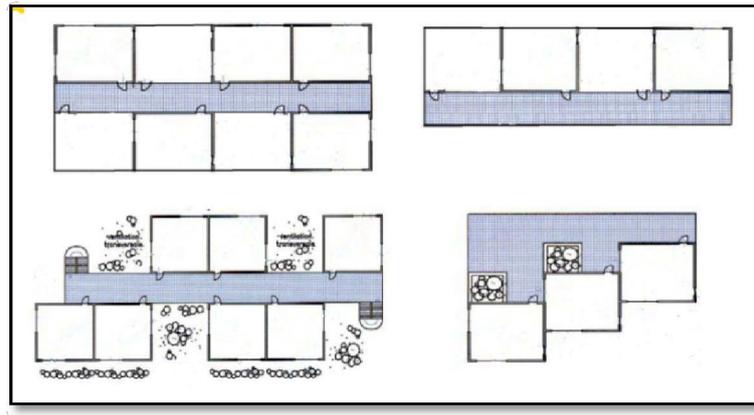


Figure II.5: bâtiments scolaires à typologies linéaires (distribution latérale et centrale).
Source : (UNESCO, 1995)

b) Schéma bloc

Dans les modèles du schéma bloc, l'organisation des salles de classe est conçue autour d'un espace central qui articule et équilibre la distribution en constituant une ou plusieurs unités d'enseignement pour l'école.

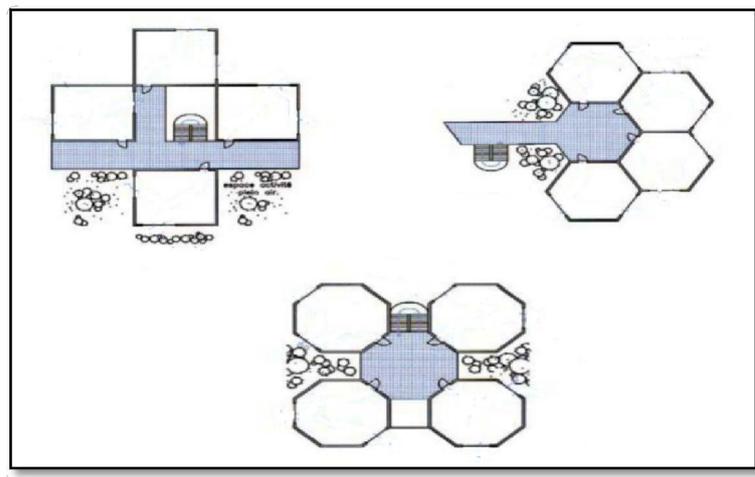


Figure II.6: exemple de groupement de salles de classes dans le schéma bloc.
Source : (UNESCO, 1995)

Il est à constater à travers l'analyse des bâtiments scolaires que le mode de composition de base de toutes les typologies est articulé autour du principe de la linéarité (schéma linéaire) et du principe du point (schéma bloc). À partir de ces deux schémas dérivent plusieurs combinaisons et formes comme on le verra ci-dessous.

c) Schéma fragmenté

Il s'agit des bâtiments scolaires dont les constituantes sont regroupées dans un schéma « fragmenté » faisant souvent sortir la forme de U. Les salles de classe forment des petites barres isolées possédant une distribution linéaire. La liaison entre les barres se fait par des

espaces polyvalents communs ou par un portique utilisé comme préau couvert qui facilitera la communication entre les unités d'enseignement.

d) Schéma articulé

Il s'agit de casser la forme linéaire du bâtiment par des modules de regroupement de classe et par des décalages dans la volumétrie. Il est souvent caractérisé par des formes en L, T, ou Y.

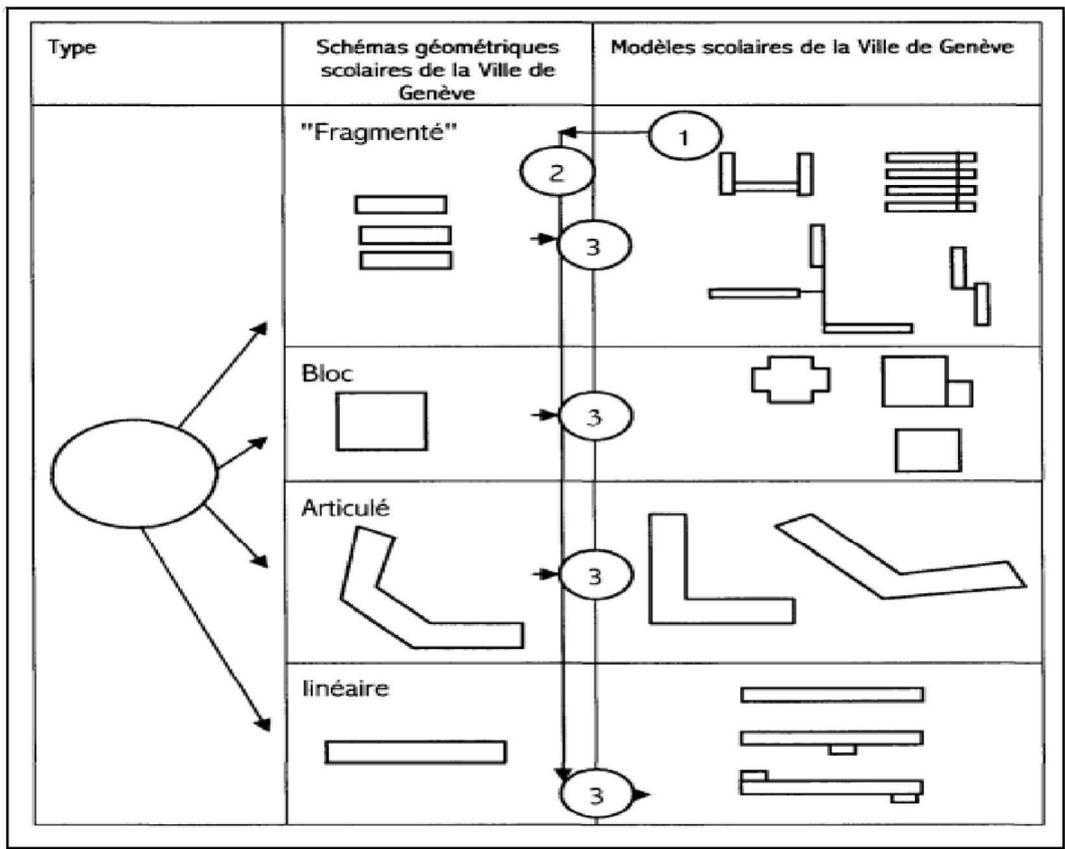


Figure II.7 : schéma de synthèse des typologies de bâtiments scolaires à Genève.

Source : (Aziza A., 2004)

II.4.2. Typologies des bâtiments scolaires en Europe

Alessandro R., en se basant sur l'analyse des morphologies et des organisations spatiales des bâtiments scolaires, a élaboré les différentes typologies en Europe. (Alessandro R., 2010). Sa recherche permet d'identifier quatre types de conceptions (Fig. II.8) à savoir :

a) Le type cour

Les corps des bâtiments s'organisent autour d'une cour centrale. La plupart des blocs constituant ce type suivent le schéma linéaire dont un couloir donne accès aux salles de classe. La recherche identifie trois types secondaires : cour simple, cour fermée et ouverte en L ou U, et cours multiples.

b) Le type bloc

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

c) Le type grappe

La principale caractéristique du type grappe est sa fragmentation en différents volumes qui peuvent représenter des unités pédagogiques indépendantes. A la différence du type bloc, le déplacement des zones privées aux zones publiques est filtré par des espaces communs.

d) Le type ville

Le type ville est caractérisé par une multiplicité d'espaces et de fonctions d'où la métaphore de la ville. Doté d'une hiérarchie, l'espace public est entouré d'espaces communs comme la bibliothèque et l'auditorium à partir desquels des rues donnent accès à des espaces de plus en plus privés.

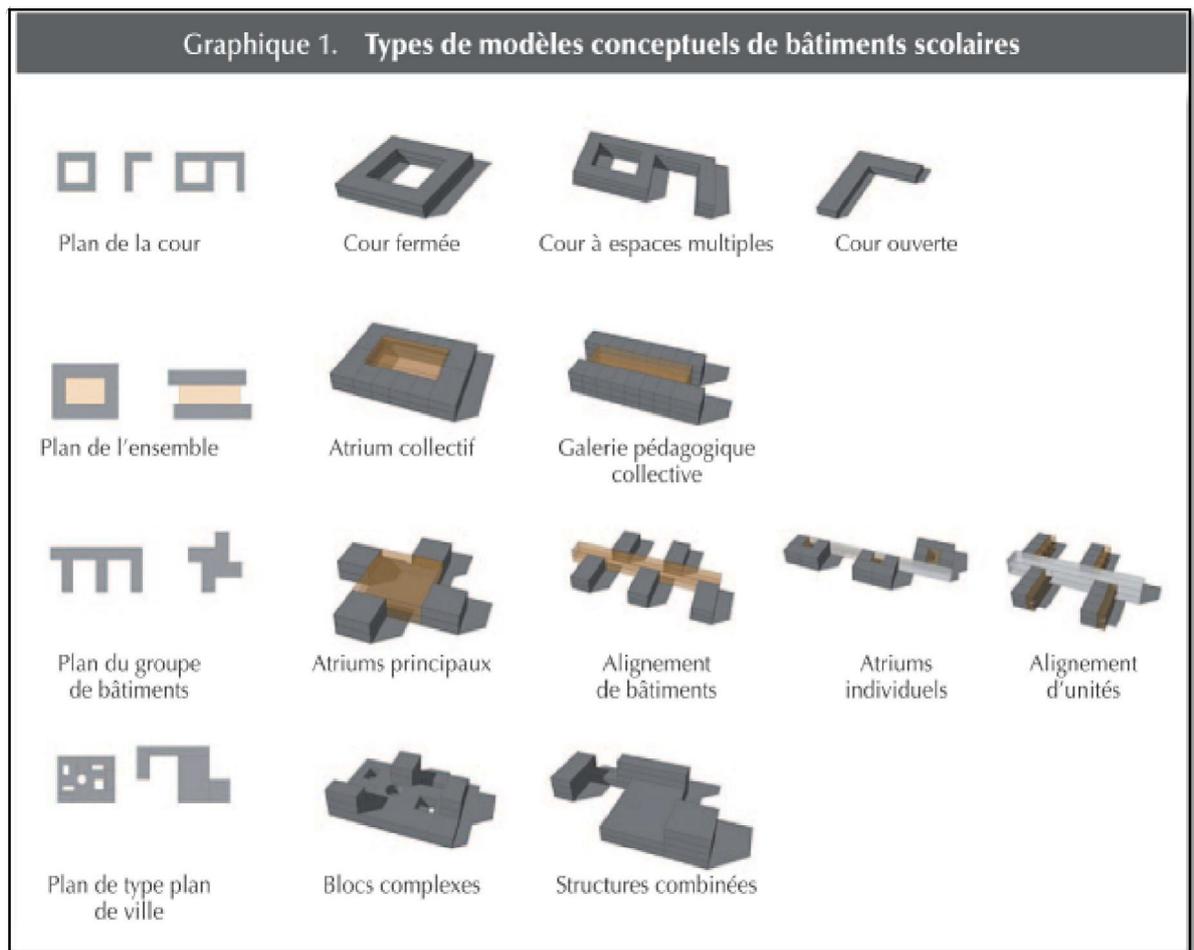


Figure II.8 : schéma de synthèse des typologies des bâtiments scolaires en Europe.

Source : (Alessandro R., 2010)

II.4.3. Typologies des bâtiments scolaires en Grèce

Dimoudi A. et al., ont recensé les typologies des bâtiments scolaires en Grèce. Sur la base d'une analyse historique et des caractéristiques spatiales, ils ont regroupé les bâtiments en deux catégories de base (Dimoudi A., Kostarela P., 2009)

a) Les bâtiments scolaires construits avant 1960

Cette typologie est caractérisée par une organisation linéaire des salles de classe et d'une enveloppe en pierre et un toit en bois.

b) Les bâtiments scolaires construits après 1960

Deux typologies de base de bâtiments scolaires caractérisent cette période, les bâtiments à configuration spatiale linéaire avec corridor ouvert ou fermé et la typologie dite «ATHINA» (fig. II.9). Cette dernière est la plus courante dans la construction des bâtiments scolaires en Grèce. Il s'agit d'une combinaison des modules carrés qui sont interconnectés par un escalier à la direction horizontale et verticale. Chaque module comprend habituellement trois salles de classe et un espace de transition commun. Les modules sont développés sous une forme de rangée ou en forme de T, L ou en croix.

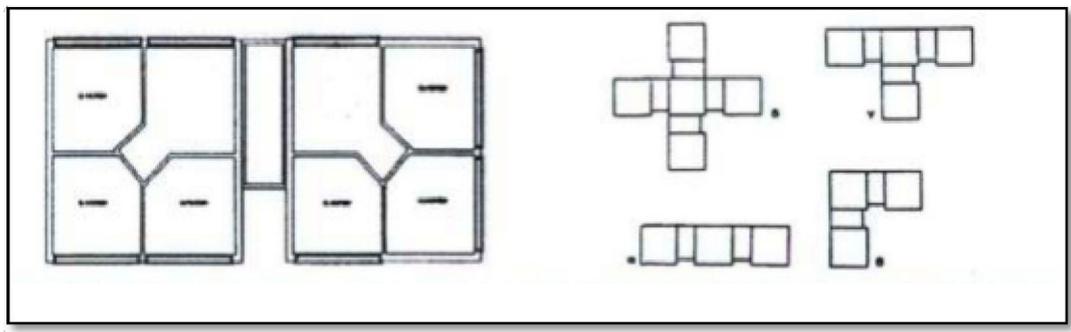


Figure II.9: configuration spatiale de la typologie « ATHINA » et ses différentes combinaisons.

Source : (Dimoudi A., Kostarela P., 2009)

II.4.4. Typologies des bâtiments scolaires au Brésil

Da Graça et al., ont analysé les plans de 39 édifices scolaires dans l'optique de développer une méthode d'évaluation du confort dans les phases préliminaires de conception pour les écoles de l'État de São Paulo au Brésil. Les plans des écoles ont été regroupés et divisés en sept typologies (Fig. II.10), certains de ces modèles représentent une combinaison de deux ou plusieurs plans de ces sept typologies, (Da Graça V.A.C, Kowaltowski D. C.C.K, Petreche J.R.D, 2007), il s'agit de :

Type 1 : plan de rangée linéaire de salles de classe le long d'un corridor unique latéral ;

Type 2 : plan de couloir linéaire central avec salles de cours de chaque côté ;

Type 3 : plan de deux ensembles de type 1 avec un espace ouvert intermédiaire ;

Type 4 : deux ensembles de plans de type 1 en forme de « L » disposés autour d'une cour ;

Type 5 : plan de type 1 en forme de « U » ;

Type 6 : plan de type 1 en forme de « L » ;

Type 7 : deux ensembles de plans type 1 avec un espace de transition couvert.

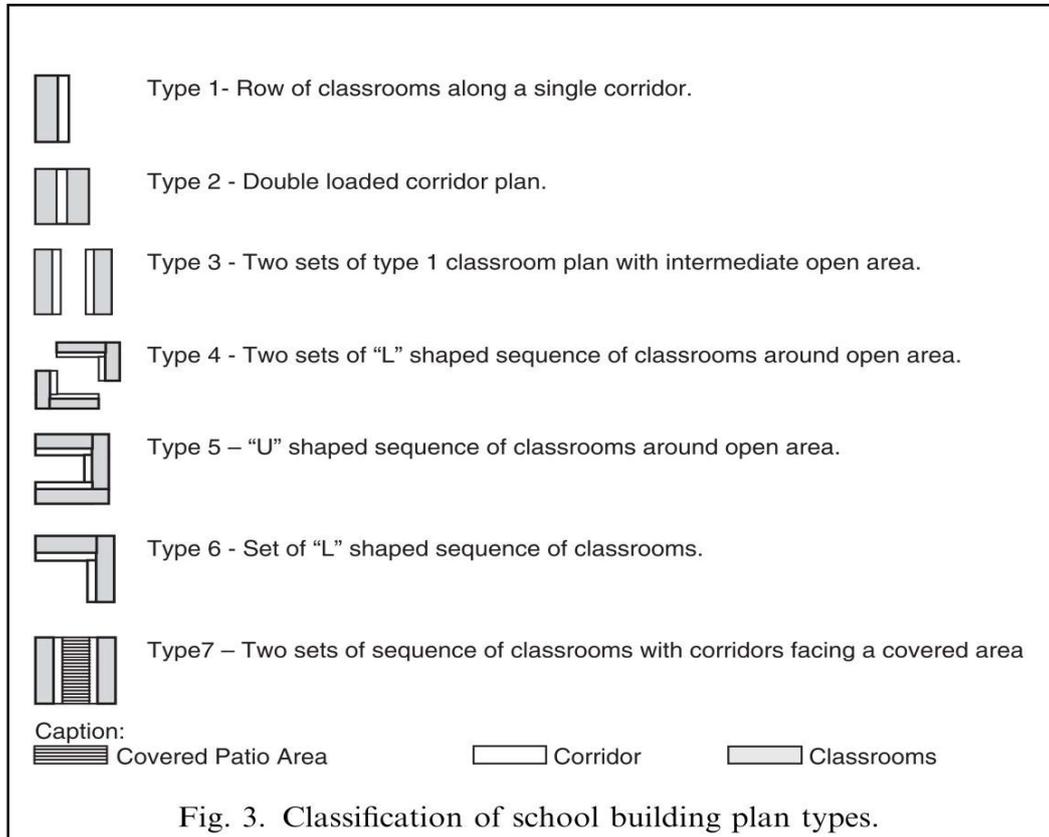


Figure II.10 : schéma de synthèse des typologies des bâtiments scolaires au Brésil.

Source : (Da Graça V.A.C, Kowaltowski D. C.C.K, Petreche J.R.D, 2007)

II.4.5. Typologies des bâtiments scolaires au Royaume-Uni

Six types de plans souvent répétés dans les projets des bâtiments scolaires du gouvernement du Royaume-Uni sont recensés, (SBDU, 2002), à savoir :

- a) **Street Plan** : cette typologie est structurée par une grille de couloirs principaux et secondaires assurant une meilleure circulation et interconnexion entre les différents espaces de l'école.
- b) **Campus plan** : l'école est considérée comme une série de blocs distincts, regroupés dans une sorte de Village. Contrairement aux autres plans, certaines circulations sont externes.
- c) **Linked pavilions** : cette typologie est composée d'un ensemble de blocs semblables et liés entre eux, organisés autour d'un espace central généralement à double hauteur.

- d) **Pavilion plan** : le plan pavillonnaire est compact. Il se développe en profondeur avec un espace de circulation linéaire central et des espaces pédagogiques de chaque part et d'autre.
- e) **Linear plan** : les salles de classe s'organisent au long d'un espace de circulation linéaire, les autres espaces pédagogiques peuvent être de l'autre côté.
- f) **Deeplinear plan** : les salles de classe s'organisent linéairement de chaque part et d'autre d'un espace central polyvalent (circulation, bibliothèque, loisirs...etc.).

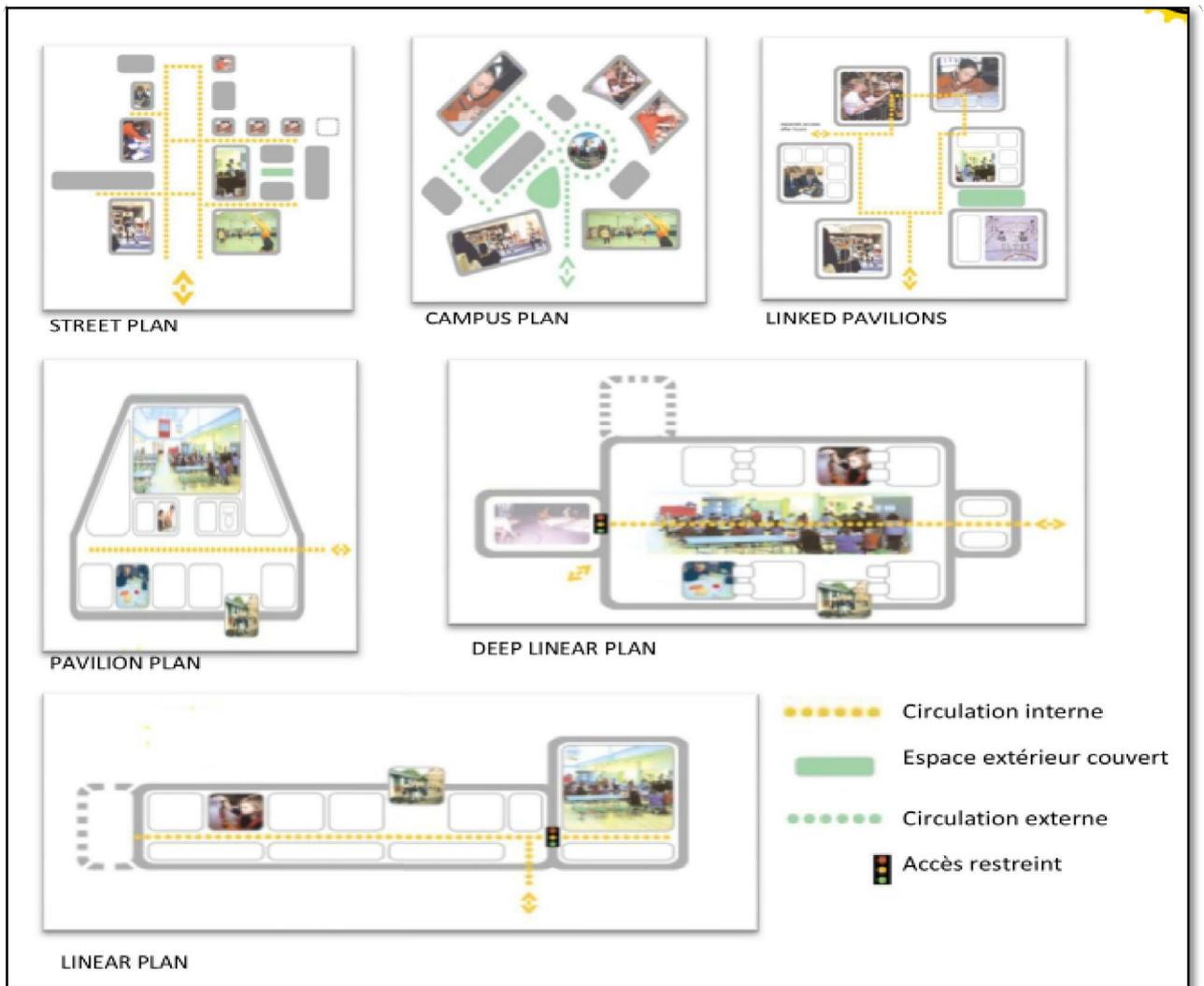


Figure II.11 : Schéma de synthèse des typologies des bâtiments scolaires au Royaume-Uni.
Source: (SBDU, 2002)

II.4.6. Typologies des bâtiments scolaires aux États-Unis

Selon une étude faite par Kliment S., la majorité des typologies des bâtiments scolaires peut être synthétisée dans quelques types simples (fig. II.12). Il propose 8 typologies entre

générales et sous types pour les bâtiments scolaires aux États-Unis (Kliment S., 2001), à savoir :

- a) **Centralized resources with double-loaded classroom wings** : plan à espace polyvalent central entre deux blocs de salles de cours à typologie corridor central ;
- b) **Dumbbell loaded classroom wings** : plan à corridor central et espaces polyvalents aux extrémités ;
- c) **Courtyard with double-loaded classroom wings** : plan à cour centrale entourée de blocs de salles de cours à typologie corridor central ;
- d) **Centralized resources with single-loaded classroom wings** : plan à espace polyvalent central entre deux blocs de salles de classe à typologie linéaire en forme de L ;
- e) **Centralized resources with classroom clustering** : plan à espace polyvalent central entouré d'un groupement de salles de cours ;
- f) **Courtyard with classroom clustering** : plan à cour centrale entourée d'un groupement de salles de cours ;
- g) **Campus plan** : plan aux blocs séparés par un espace extérieur ;
- h) **Compact urban plan** : plan compact dans les zones urbaines.

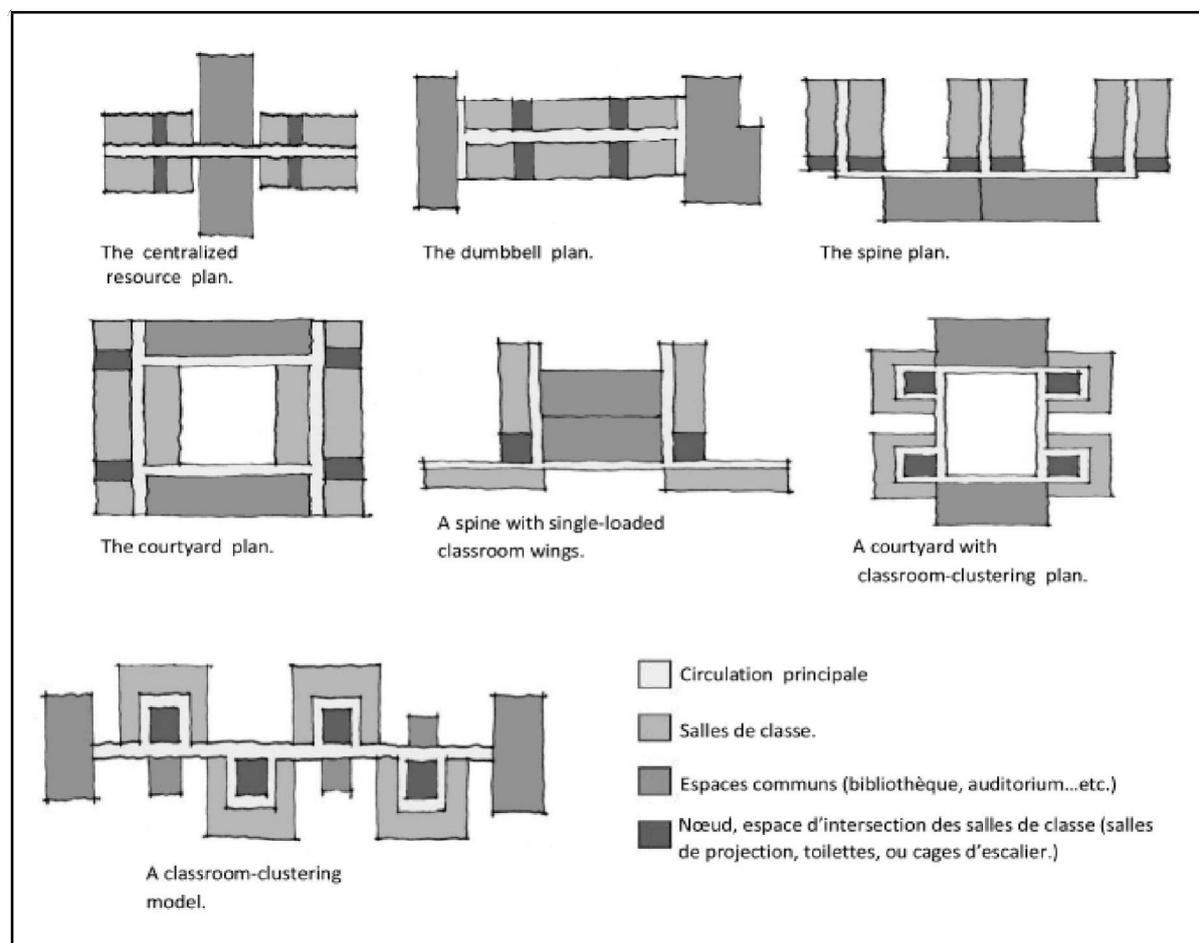


Figure II.12 : schéma de synthèse des typologies des bâtiments scolaires au Etats-Unis.

Source: (Kliment S., 2001)

II.4.7. Typologies des bâtiments scolaires en Israël

Becker et al., à travers l'analyse de divers plans d'écoles en Israël, dont l'objectif est d'étudier l'effet de différentes stratégies de chauffage et de refroidissement, ont conclu que les salles de cours sont généralement disposées au long d'un couloir ou regroupées autour d'un hall. La plupart des écoles Israéliennes se composent de deux à trois étages. (Becker R., Goldberger I., Paciuk M., 2007). La disposition schématique des salles de cours est donnée dans la fig. II.13.

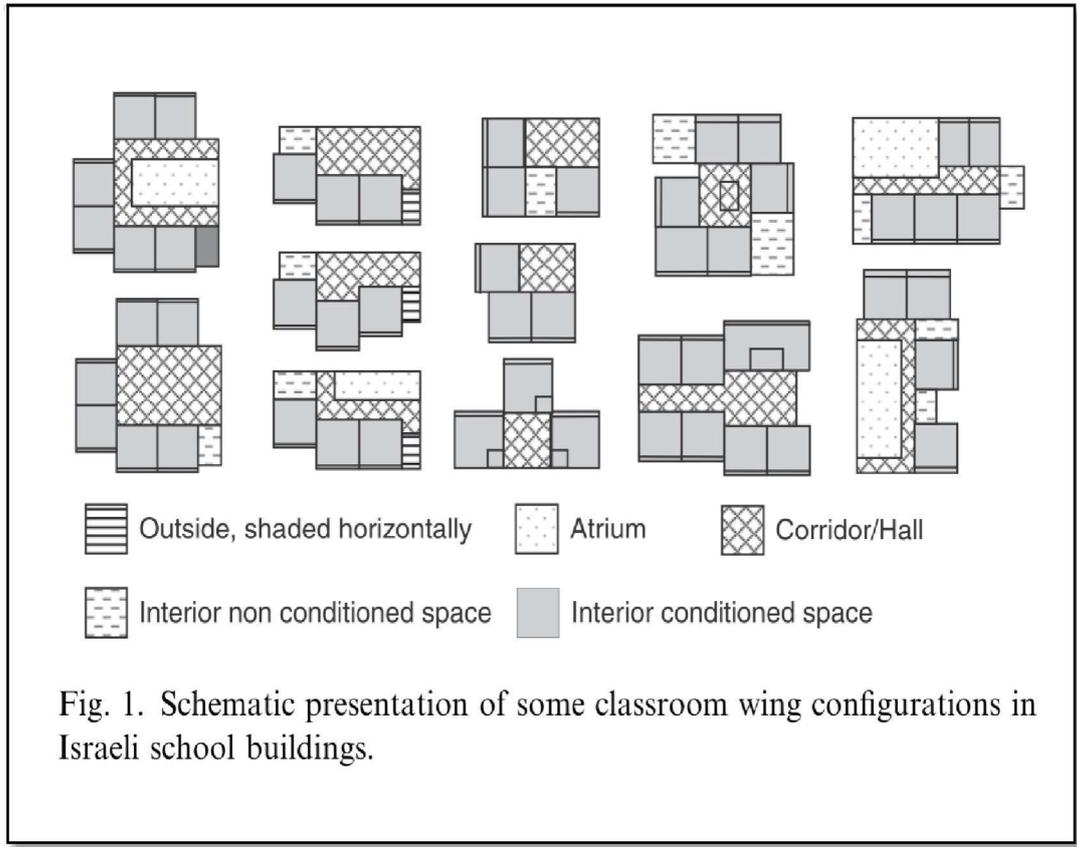


Figure II.13 : schéma de synthèse des typologies des bâtiments scolaires en Israël.

Source: (Becker R., Goldberger I., Paciuk M., 2007)

A la lumière de ces études, on peut noter la répétition des différentes typologies dans différents contextes à l'échelle internationale. En effet, divers auteurs ont montré la récurrence des constructions typiques dans le cadre de l'architecture scolaire. Ils ont conclu que malgré qu'il existe des combinaisons et des formes presque infinies des bâtiments scolaires, ces derniers découlent de trois configurations spatiales de base. Ces dernières sont imbriquées entre elles pour ressortir les autres formes. Il s'agit de la typologie linéaire à corridor central, la typologie linéaire à corridor latéral (plan à coursive) et la typologie centrale.

II.5. Aperçu sur la scolarisation et l'évolution spatiale des bâtiments scolaires en Algérie

II.5.1. Les espaces d'enseignement avant la colonisation française

Avant la colonisation française, le système éducatif était basé sur la religion. On distingue 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 dénombre 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.

II.5.2. 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.

En 1871, il y avait une vingtaine d'années que fonctionnent les écoles françaises musulmanes. Néanmoins, les objectifs fixés n'étaient pas atteints. Le gouverneur général de l'Algérie supprime les collèges franco-musulmans. L'enseignement et les programmes étaient identiques dans les écoles publiques mutuelles ou dans les écoles françaises musulmanes.

D'autre part, l'association des Oulémas fondée en 1931 avait comme mission prioritaire la mise en place d'un véritable système éducatif parallèle à celui mis par l'administration Française. 260 Médersas libres furent créés entre 1931 et 1939 par cette association.

II.5.3. La période postcoloniale

II.5.3.1. 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.

II.5.3.2. 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).

II.5.3.3. 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).

II.6. Architecture des bâtiments scolaires en Algérie

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'Education 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).

II.6.1. 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 1^{er} et 2^{ème} cycle de l'école fondamentale et ceux des lycées ont été élaborés par le ministère.

II.6.2. La capacité d'accueil des établissements scolaires

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 et le lycée. Il était arrêté pour les écoles fondamentales du premier et deuxième cycle (écoles primaires) les typologies suivantes :

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

Tableau II. 1. : typologie d'écoles selon leurs capacités d'accueil.
Source : (Ministère de l'éducation nationale, 1982)

Pour les écoles fondamentales du troisième cycle (collèges), ces établissements sont classés en cinq catégories :

- ✚ École fondamentale Base 03, pour une capacité d'accueil de 360 élèves ;
- ✚ École fondamentale Base 04, pour une capacité d'accueil de 480 élèves ;
- ✚ École fondamentale Base 05, pour une capacité d'accueil de 660 élèves ;
- ✚ École fondamentale Base 06, pour une capacité d'accueil de 720 élèves ;
- ✚ École fondamentale Base 07, pour une capacité d'accueil de 840 élèves.

Quant à l'enseignement secondaire, il est dispensé dans trois types d'établissements qui sont classés en 03 catégories selon leurs capacités d'accueil à savoir : 800, 1000 et 1300 places pédagogiques :

- ✚ Lycées d'enseignement général ;
- ✚ Lycées d'enseignement technique;
- ✚ Lycées polyvalents (enseignement général et technique).

II.6.3. 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 :

II.6.3.1. 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.)

II.6.3.2. 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.

II.6.3.3. 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.

II.6.3.4. 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.

II.6.3.5. 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).

II.6.4. Les typologies selon la configuration spatiale du plan

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

✚ **La simple distribution (typologie de plan à coursive):** caractérisée par de longues circulations assurées par des coursives, galeries et préaux. Les salles de cours prennent généralement une forme rectangulaire et présentent une double orientation. Cette typologie est la plus répandue dans les constructions scolaires en Algérie, surtout dans les écoles primaires.

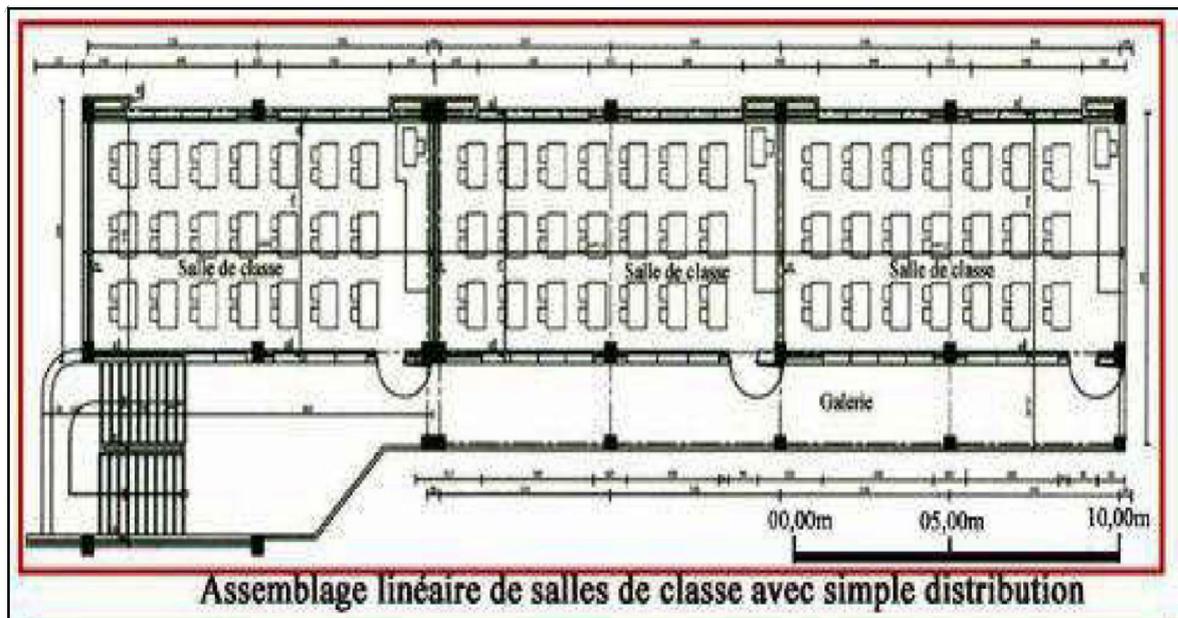


Figure II.14 : typologie de plan à coursive (simple distribution).

Source : (Tebbouche H., 2010)

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



Figure II.15 : typologie de plan à corridor central (double distribution).

Source : (Tebbouche H., 2010)

La forme globale des blocs pédagogiques se présente selon plusieurs compositions géométriques dont :

- ✚ Assemblage linéaire en forme de L, de U, T ou de H, avec simple distribution des blocs pédagogiques (plans à coursives);
- ✚ Assemblage linéaire en forme de L, de U ou de H, avec double distribution des blocs pédagogiques (plan à corridor central) ;
- ✚ Dans certains cas, un assemblage rayonnant, avec une distribution multiple (circulation centrale avec hall de distribution).

La disposition du reste des bâtiments tels que la bibliothèque, l'administration, le réfectoire, les dortoirs, les sanitaires et les logements de fonction se fera selon plusieurs variantes. Il faut tenir en compte des différentes activités pédagogiques et parascolaires afin d'essayer de rapprocher les activités qui vont ensemble et éloigner celles qui peuvent être source de nuisances.

II.6.5. 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, 1971, 1982).

II.6.5.1. Forme et dimensions

- ✚ Les salles de cours prennent une forme rectangulaire.

- ✚ La surface modulaire de la salle de classe est estimée entre 60m^2 à 62m^2 avec une surface utile correspondante qui ne doit pas être inférieure à 56m^2 .
- ✚ La hauteur sous plafond est en minimum 3m et ne dépassera en aucun cas 3.50m.
- ✚ La surface utile par élève est de: $1,40\text{ m}^2$ à $1,50\text{ m}^2$ (avec une capacité de 40 élèves/classe).
- ✚ Le volume l'air exigé est de 4 à 6 m^3 par élève.
- ✚ La surface des espaces de récréation est 3 à 5 m^2 par élève.
- ✚ Les sanitaires : 1w.c.pour 20 filles et 1w.c. + 1 urinoir pour 40 garçons.

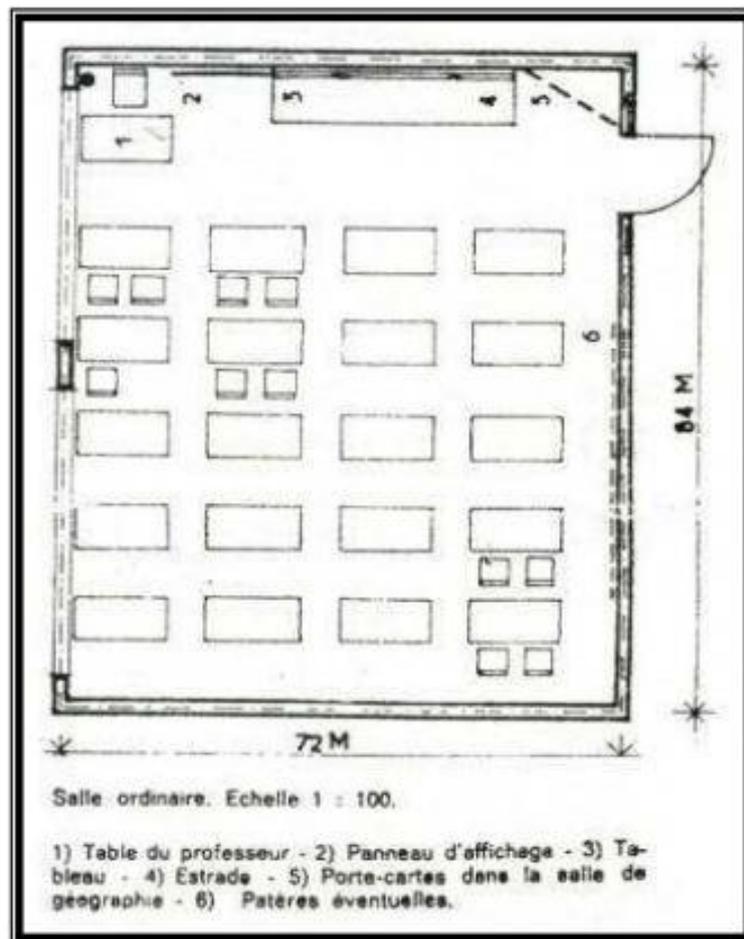


Figure II.16 : aménagement et dimensions recommandées pour une salle de classe ordinaire.

Source:(Ministère de l'éducation nationale, 1971)

II.6.5.2. Ouvertures

- ✚ **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 ($2\text{m} \times 0,9\text{m}$), 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, 1982).

II.6.5.3. Revêtements

Les revêtements du sol doivent être antidérapants, étanches, et résistants aux variations de températures, aux chocs et aux agents chimiques. Les revêtements des murs et des plafonds doivent être choisis de couleurs claires, et ne doivent pas être accrochables aux poussières. Les plafonds seront plans, unis et sans corniches. (Ministère de l'éducation nationale, 1982).

Conclusion

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

En Algérie, la production des bâtiments 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 bâtiments 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 bâtiments scolaires ont subi 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 constructions 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.

Troisième chapitre : Confort thermique dans le bâtiment ; paramètres et évaluation

Introduction

Le confort thermique est une exigence essentielle à la qualité des espaces bâtis. Cette notion qui correspond à tout ce qui constitue le bien être thermique et à tout ce qui y contribue fait appel à de multiples interactions entre l'occupant, le bâtiment et l'environnement extérieur. Dans ce chapitre, il sera question d'analyser les connaissances existantes en matière de confort thermique à travers un état de l'art des travaux des auteurs dans ce domaine. Cela permet de mettre en exergue l'interaction des paramètres composant l'ambiance thermique dans les bâtiments et de désigner les principaux facteurs à prendre en considération dans le travail d'investigation.

Par ailleurs, une fois construit, le bâtiment favorise ou défavorise l'épanouissement et le bien être thermique des occupants ; l'évaluation de son ambiance thermique est cruciale afin de lui permettre d'atteindre les objectifs de fonctionnalité et de confort. La question de savoir comment se sentent les usagers d'un espace donné, a souvent été un souci pour les professionnels du domaine de la construction. Pour son évaluation, plusieurs outils de recherche peuvent être utilisés. Il sera objet, dans la dernière partie de ce chapitre, de faire un aperçu sur les méthodes d'évaluation du confort thermique et les caractéristiques de chacune d'entre elles, chose qui permet de choisir les outils d'évaluation les plus adéquats aux objectifs fixés dans le cadre de ce travail de recherche.

III.1. Le confort thermique dans les milieux scolaires

III.1. 1. Définition du 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). En effet, le confort thermique est une notion si complexe et fait intervenir plusieurs facteurs physiques, physiologiques et même psychologiques. Au sens physique, il correspond à un équilibre entre les gains produits par le corps humain et ses pertes de chaleur. Il dépend de six aspects : l'activité, l'habillement, la température de l'air, l'humidité relative, la température des surfaces et la vitesse de l'air. Par ailleurs, « au-delà de l'aspect physiologique, la relation entre le sujet et son entourage, son humeur, ses expériences thermiques sont des facteurs psychologiques qui affectent la perception thermique » (Moujalled B., 2007).

III.1.2 Le confort thermique dans les milieux scolaires

Le confort est une condition essentielle à la qualité des espaces éducatifs vu son impact sur le processus d'apprentissage. Plusieurs recherches ont démontré que la réussite scolaire est fortement dépendante des conditions dans lesquelles les élèves sont enseignés. Dans les salles de cours, les usagers deviennent très sensibles à l'ambiance thermique du fait que le degré d'activité est faible. Harner a conclu que la meilleure plage des températures pour la lecture et les mathématiques est de 20-23 °C et que l'habileté pour étudier ces sujets est réduite pour des températures au-dessus de 23 °C (Harner D., 1974). Dans le même contexte, les résultats théoriques de Fanger (Fanger P.O., 1972), étaient utilisés pour essayer de mieux cerner les conditions de confort des locaux scolaires. Le principal résultat est que la sensation de confort est en général satisfaite pour une température résultante de 20°C.

III.1. 3. Impact de l'ambiance thermique sur les élèves

Vu l'importance du confort thermique sur la santé et la productivité des élèves, de nombreux travaux de recherche étaient menés dans ce domaine. L'inconfort thermique affecte généralement l'accomplissement, la performance et le temps d'attention. Dans ce contexte, Pépeter et Warner ont démontré qu'il y a une diminution de la productivité chez les élèves lorsque la température ambiante se situait en dessous de 21°C et au-delà de 25 °C (Pepler, R.D. , Warner R.E, 1968). À cet égard, Zeiler et Boxem estiment que les températures chaudes ont tendance à réduire la performance, tandis que les températures froides réduisent la ductilité manuelle et la vitesse d'exécution des tâches (Zeiler W., G., Boxem, 2009).

Par ailleurs, l'ambiance thermique joue un rôle important sur l'absentéisme des élèves. Dans ce sens, une étude était réalisée sur des élèves occupant une nouvelle école au Natal en Afrique du Sud. Les résultats révèlent une diminution de 50% dans l'absentéisme hivernal grâce aux stratégies passives de chauffage qui étaient mises en œuvre dans le nouveau bâtiment pour obtenir une température de confort de 10 °C supérieure à la température extérieure d'hiver (Haw M. et al., 2008). Ces quelques conclusions ne représentent que peu parmi les nombreuses études qui ont démontré l'impact que peut avoir l'ambiance thermique sur les différents aspects de la scolarité des enfants (santé, bien être, rendement scolaires...etc.). Elles mettent l'accent sur la nécessité de concevoir des bâtiments plus efficaces, sains et durables.

III.2. Facteurs affectant les conditions thermiques des bâtiments

III.2. 1. Paramètres liés aux conditions climatiques

III.2. 1. 1. Présentation des modes de transfert de chaleur

Plusieurs facteurs interagissent dans l'équilibre thermique des bâtiments. Pour mieux comprendre le mécanisme de fonctionnement de ces paramètres, il est important de présenter les différents modes de transfert de chaleur.

- ✚ **La conduction** : c'est le moyen par lequel la chaleur circule de proche en proche dans un matériau ou passe d'un corps à un autre en contact physique direct par simple interaction moléculaire.
- ✚ **La convection** : correspond au mode d'échange de chaleur entre une surface et un fluide mobile à son contact ; ou bien au déplacement de chaleur au sein d'un fluide par le mouvement de l'ensemble de ses molécules d'un point à un autre.
- ✚ **Le rayonnement** : la chaleur se transmet d'un corps à un autre par émission et absorption de rayonnements électromagnétiques par les surfaces des corps.
- ✚ **L'évaporation (le changement de phase)** : ce phénomène implique un changement d'état liquide ou gazeux) et produit une absorption ou une émission de chaleur. L'agitation des molécules est telle que les forces intermoléculaires ne suffisent plus à les lier et qu'elles se libèrent les unes des autres en formant un gaz (Roulet C. A., 2012).

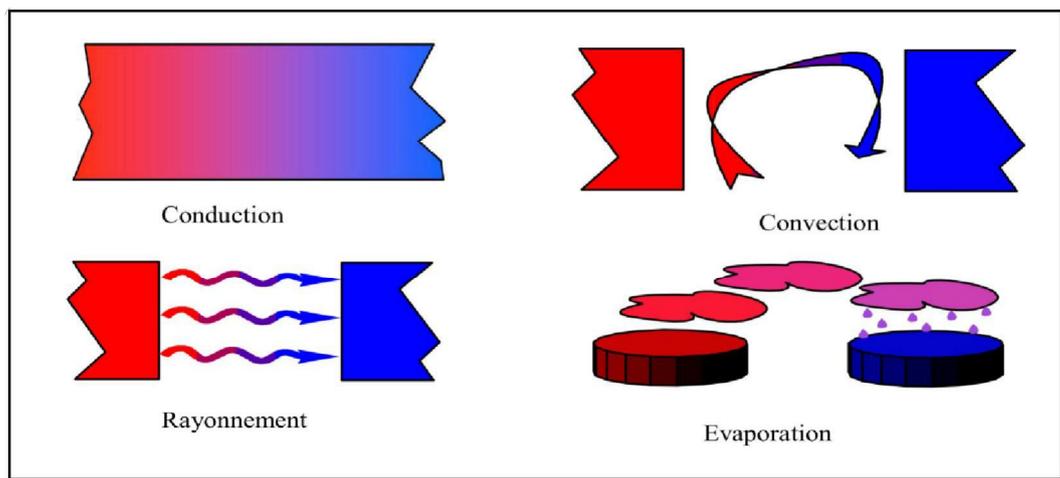


Figure III.1: les différents modes de transfert de chaleur.

Source :(Roulet C. A., 2012)

III.2. 1. 2. La température de l'air

La température est un état instable dont les variations au voisinage de l'environnement humain dépendent du rayonnement solaire, du vent, de l'altitude et de la nature du sol

(Liebard A., De Herde A., 2005). Cette grandeur physique est liée immédiatement à la notion du chaud et du froid. Le taux de réchauffement et de refroidissement de la surface de la terre est le principal facteur qui détermine la température de l'air qui est à son contact (Givoni B., 1978). La température extérieure affecte l'ambiance thermique d'un bâtiment en chauffant directement l'air intérieur à son contact quand la ventilation naturelle est assurée et en chauffant les parois externes de l'enveloppe. Cette chaleur est transmise à la surface interne de la paroi qui, à son tour, chauffe l'air intérieur par convection.

III.2. 1. 3. L'ensoleillement

Le rayonnement solaire est une source importante d'apports énergétiques notamment quand l'orientation est bien choisie. Le rayonnement solaire disponible en un lieu consiste en une composante directe et une composante diffuse. Le taux d'ensoleillement dépend du rayonnement solaire, de la durée d'exposition au soleil, de l'altitude et des conditions locales de nébulosité, la pureté de l'air, du vent et enfin de la saison et de l'heure de la journée (Givoni B., 1978).

Le rayonnement solaire incident élève la température d'un bâtiment de deux manières. Premièrement, lorsque le rayonnement solaire atteint l'enveloppe externe d'un bâtiment, cette énergie absorbée augmente la température des surfaces externes, ces dernières la transmettent à l'intérieur par le mur et le toit. Deuxièmement, lorsque le rayonnement solaire arrive sur une fenêtre, la presque totalité de l'énergie passe directement à travers le verre à l'intérieur où elle est piégée par le processus d'effet de serre.

III.2. 1. 4. Le vent

Le vent est un déplacement d'air, essentiellement horizontal, d'une zone de haute pression vers une zone de basse pression. Le vent a une action déterminante dans les transferts de chaleur à la surface des parois des constructions ainsi que pour la ventilation des locaux. En effet, les échanges convectifs entre les surfaces externes des parois et l'air sont fonction de la vitesse de ce dernier. Le taux de renouvellement de l'air dans un local dépend lui aussi de la vitesse du vent, en particulier, quand la ventilation transversale est possible (Benhalilou K., 2008). Le vent est généralement bienvenu en été, particulièrement dans les climats chauds et humides car il a un effet de rafraîchissement. Tandis que les vents d'hiver sont des sources importantes de refroidissement par convection.

III.2. 1. 5. L'humidité

Le terme d'humidité est relatif à la teneur de l'atmosphère en vapeur d'eau. La capacité de l'air à contenir de la vapeur d'eau augmente progressivement avec sa température qui est donc parmi les principaux facteurs déterminants. L'humidité de l'air peut être exprimée de diverses manières : humidité absolue, humidité spécifique, humidité relative. Cette dernière correspond au rapport exprimé en pourcentage entre la quantité d'eau contenue dans l'air sous forme de vapeur à la température ambiante, et la quantité maximale qu'il peut contenir à cette même température (Liebard A., De Herde A., 2005). Dans un bâtiment, l'humidité de l'air a des effets de réduction des températures de surfaces et d'augmentation de la possibilité de condensation ; elle affecte aussi la capacité de l'évaporation de la sueur à la surface de la peau des occupants.

III.2. 1. 6. Les précipitations

Les précipitations recouvrent une réalité multiple ; pluie, grêle et neige qui sont les manifestations d'un même processus fondamental, le cycle de l'eau (Liebard A., De Herde A., 2005). Les météorologues définissent les précipitations comme un ensemble organisé de particules d'eau liquides ou solides tombant en chute libre au sein de l'atmosphère. Les précipitations peuvent affecter les bâtiments par le phénomène d'aspiration capillaire dans un mur, ou par leur pénétration par les ponts, les joints et les failles causant ainsi des variations dans les températures et les humidités des surfaces du bâtiment.

III.2. 2. Paramètres liés au cadre bâti

Dans un cadre conceptuel lié à l'architecture bioclimatique, les paramètres affectant le confort thermique liés au cadre bâti sont :

III.2. 2. 1. L'implantation

Le choix du site d'implantation d'un bâtiment influe principalement sur son rapport au soleil et aux vents dominants. Selon Pierre Fernandez, la localisation dans le site est un acte préalable de l'intégration de la composante énergétique dans la maîtrise des ambiances architecturales. Réussir une insertion du bâtiment revient à exploiter le potentiel du site et à analyser l'interaction du projet avec les éléments caractéristiques de son site, comme le relief, le contexte urbain, le type de terrain, la végétation et enfin le vent (Fernandez P., 1996).

III.2. 2. 2. L'orientation

a) L'orientation par rapport au rayonnement solaire

B. Givoni place le concept de l'orientation au centre des éléments influant sur les ambiances intérieures d'un bâtiment. Il précise que le choix de l'orientation est soumis à de nombreuses considérations telles que la vue, la position du bâtiment par rapport aux voies, la topographie du site, la position des sources de nuisance, les déperditions possibles, l'aération et la nature du climat.

L'orientation affecte les conditions thermiques intérieures de deux manières et par l'influence de deux facteurs climatiques distincts. Le premier est le rayonnement solaire et ses effets d'échauffement sur les murs et les pièces orientées selon différentes directions. Le second est la ventilation en rapport avec la direction des vents dominants et l'orientation de la construction (Givoni B., 1978). Les puissances reçues du soleil diffèrent selon l'exposition des façades aux différentes orientations (fig. III.2)

- ✚ **L'exposition Sud** : c'est la plus intéressante d'un point de vue bioclimatique du fait qu'elle reçoit le minimum de radiations solaires en été grâce à la hauteur du soleil et le maximum en hiver.
- ✚ **Les expositions Est et Ouest** : ce sont les orientations les plus défavorables comparativement aux autres ; le soleil est bas et la direction de ses rayons se rapproche de l'horizontal. Ainsi, l'inclinaison des rayons solaires est importante sur ces façades, ce qui accroît leur facilité de traverser les ouvertures en été (Fernandez P., Lavigne P., 2009). Les façades Est et Ouest reçoivent le maximum de radiations solaires en été et le minimum durant les mois d'hiver.
- ✚ **L'exposition Nord** : il est déconseillé des ouvertures au côté Nord notamment en climat tempéré du fait qu'elles ne reçoivent pas du rayonnement solaire.

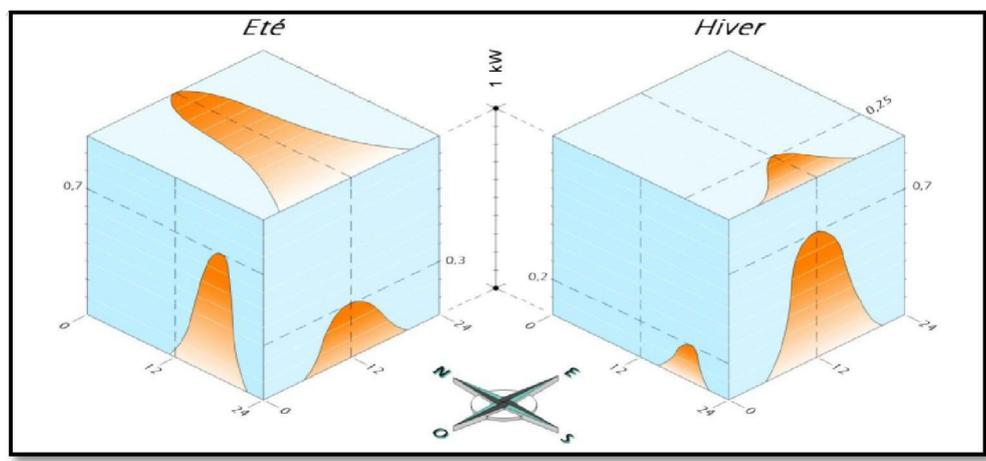


Figure III.2 : Répartition des puissances reçues du soleil suivant les orientations des façades.

Source : (Izard J.-L., Guyot A., 1979)

Il est admis que, toute forme allongée suivant l'axe Est-Ouest présente les meilleures performances thermiques (Mazouz S., 2008). L'exposition principale Sud s'adapte le mieux au climat méditerranéen du fait que le soleil est disponible toute la journée et toute l'année, avec une facilité de se protéger en été.

b) L'orientation par rapport au vent

L'orientation des fenêtres vis-à-vis de la direction des vents a un impact remarquable sur la ventilation intérieure. B. Givoni (1978) exige la disposition des ouvertures aussi bien sur la façade «au vent» que sur sa face «sous vent» pour qu'une ventilation soit satisfaisante. Toutefois, le vent peut avoir des effets dérangeants, ceux d'hiver peuvent être des sources importantes de déperditions par convection ou infiltration.

Izard J.-L. (1979) signale que les orientations sont choisies à partir de l'utilisation que l'on désire. Ainsi, les parois exposées aux vents porteurs de pluie, de sable ou autre doivent être spécialement protégées, alors que celles exposées aux vents doux peuvent être ouvertes. Par ailleurs, l'impact du vent sur une façade peut être réduit en protégeant des parties du bâtiment par la topographie du site, des plantations et des remblais....etc.

III.2. 2. 2.1. Impact de l'orientation sur le confort thermique dans les salles de cours des bâtiments scolaires

Dans les bâtiments scolaires, les effets de l'orientation sont conditionnés en plus de l'aspect thermique, par une forte demande en éclairage et de ventilation naturelle. Dans son étude sur l'impact de l'orientation des parois transparentes sur le confort thermique dans une salle de classe dans le contexte climatique Constantinois, Bouchahm G., (2008) a conclu que les orientations Sud et Nord sont les plus appropriées que les orientations Est et Ouest. Cependant, vu que les surfaces vitrées doivent avoir des dimensions importantes pour assurer le confort lumineux, les ouvertures doivent avoir des protections solaires.

III.2. 2. 3. La forme architecturale

La forme du bâtiment influe sur son bilan global de l'éclairage énergétique dû au soleil, sur le taux de déperditions thermiques et sur l'écoulement des flux d'air aux abords, en conséquence sur les conditions thermiques intérieures (Izard J.-L., Guyot A., 1979). La forme optimale correspond à celle qui permet de perdre un minimum de chaleur en hiver et d'en gagner un minimum en été.

Une forme compacte est plus efficace qu'une forme éclatée puisque les déperditions sont proportionnelles à la surface d'échange entre l'intérieur et l'extérieur. En effet, différentes études ont traité l'impact de la forme sur les conditions thermiques des bâtiments. Elles ont développé une méthode simplifiée qui permet de quantifier les volumes construits en indiquant leur degré d'exposition aux conditions climatiques extérieures ; il s'agit du coefficient de forme (Cf). Ce dernier mesure le rapport de la surface de l'enveloppe au volume habitable (m^2/m^3). Ainsi, pour limiter les déperditions thermiques, le coefficient de forme doit être réduit au maximum.

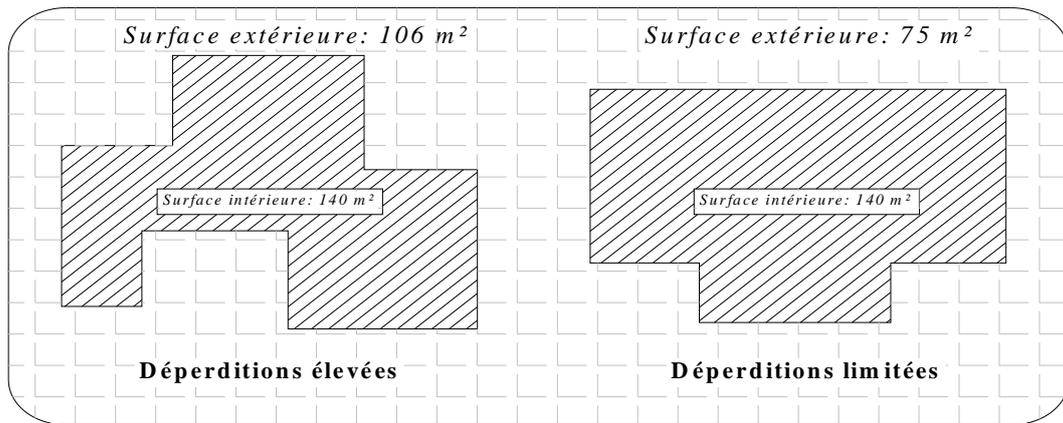


Figure III.3: Impact de la forme du bâtiment sur l'importance des surfaces de déperditions thermiques. Source : (Chabbi M., 2009)

III.2. 2. 4. La configuration spatiale du bâtiment

La configuration spatiale des bâtiments doit permettre d'adapter le type d'ambiance à l'utilisation propre de l'espace. Pour optimiser l'approche thermique, il est important de concevoir un zoning thermique des locaux. Il s'agit d'orienter les pièces selon leur besoin énergétique, le type d'activité et le taux de fréquentation. En climat méditerranéen, l'orientation Sud est la plus agréable d'un point de vue thermique et lumineux, il est alors préférable d'y placer les pièces à vivre pendant la journée. Dans les bâtiments scolaires, les salles de cours sont les mieux adaptées pour l'emplacement Sud dans la configuration spatiale de l'établissement.

Les pièces ne nécessitant que peu ou trop peu d'ouvertures sont à placer au Nord où il n'est pas nécessaire d'assurer une température de confort et une lumière permanentes. Elles jouent le rôle de tampon pour les espaces occupés en permanence étant ceux qui nécessitent plus de chaleur en hiver.

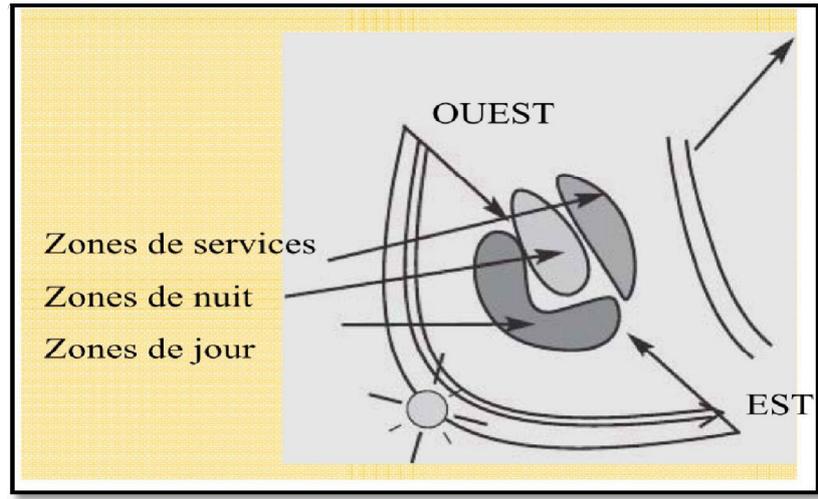


Figure III.4 : Principe du zonage thermique.

Source : (Hauglustaine J.M., Simon F., 2006)

III.2. 2. 4.1. Impact de la forme et de la configuration spatiale sur les conditions thermiques dans les bâtiments scolaires

Dans les bâtiments scolaires, les exigences d'ordre fonctionnel dictent pour la plupart des cas la configuration spatiale. Contrairement à l'habitat dont la compacité est un paramètre très recommandé, Thomas Releau (1999) affirme que les écoles et les bâtiments à bureaux requièrent des niveaux élevés d'éclairément et de ventilation naturelle. Ils nécessitent donc des formes articulées avec de grandes surfaces de murs extérieurs et plus de surfaces vitrées.

Dans son étude, Montenegro E. E., (2011) a simulé le comportement thermique de trois modèles de configurations spatiales des bâtiments scolaires afin d'évaluer leur impact sur la performance lumineuse et thermique. Les typologies étudiées sont le modèle linéaire, le modèle à corridor central et le modèle concentré avec trois différentes formes, proportions, et dimensions de salles de classe. La figure III.5 présente une synthèse des typologies des bâtiments et des salles de cours étudiées. Il est conclu que les typologies les plus performantes d'un point de vue thermique dans le climat tempéré sont la typologie de plan à corridor central suivie par la typologie linéaire ; la typologie concentrée est la moins performante. (Montenegro E. E., 2011).

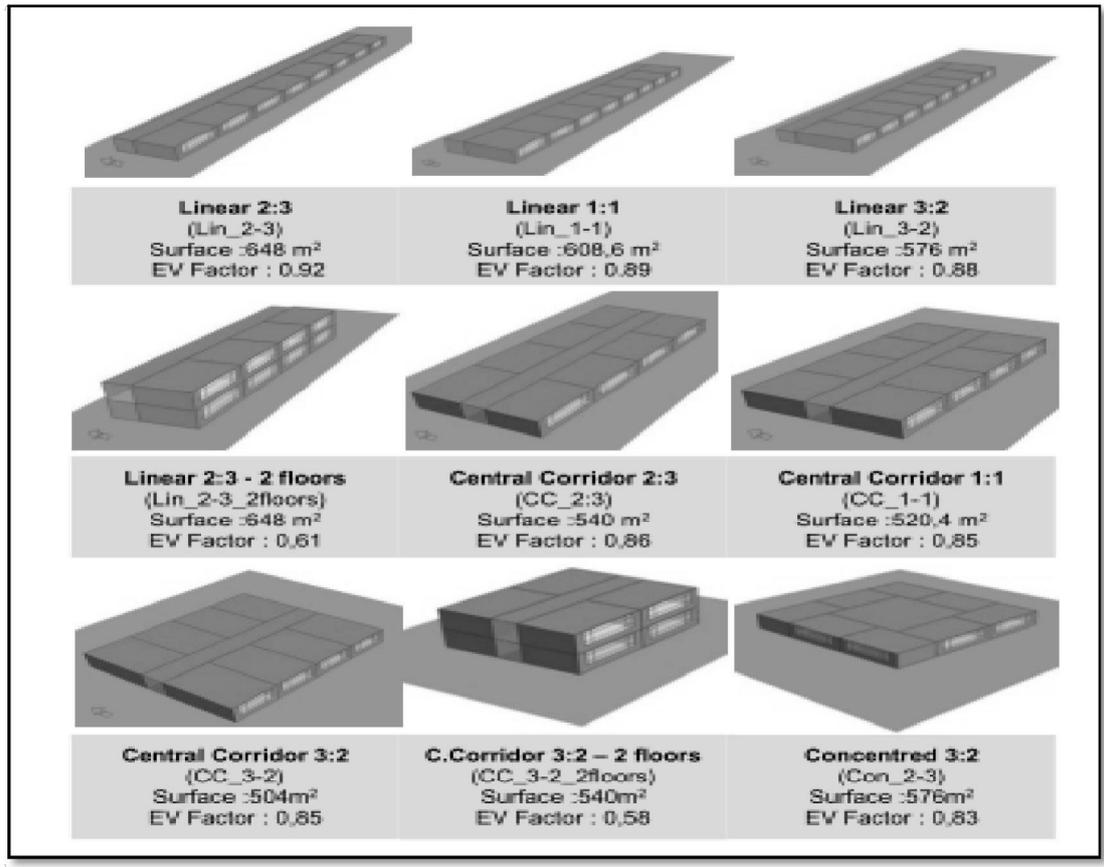


Figure III.5: les typologies de bâtiments scolaires analysées par Montenegro E. E., (2011).

Source: (Montenegro E. E., 2011)

III. 2. 2. 5. Les surfaces vitrées

Les surfaces vitrées participent activement dans les échanges thermiques entre l'intérieur et l'extérieur. Le verre permet au rayonnement solaire de pénétrer à l'intérieur où il est absorbé par les surfaces et les objets que contient le bâtiment. Ces surfaces chauffées émettent à leur tour un rayonnement dont la longueur d'onde n'est pas transmise à l'extérieur par le verre ; le rayonnement se trouve donc piégé à l'intérieur. Par ce processus connu sous le nom de « l'effet de serre », une surface vitrée exposée au soleil provoque une élévation des températures intérieures supérieures à celles que pourra provoquer la pénétration du rayonnement solaire par une fenêtre ouverte (Givoni B., 1978).

Toutefois, en hiver ces vitrages fonctionnent en régime permanent comme des surfaces privilégiant les déperditions. Ce phénomène se produit aussi en été où les surchauffes peuvent plus facilement être dissipées sous l'effet d'un gradient thermique pendant la nuit, compensant en partie les effets diurnes.

La dimension des baies vitrées fixe par proportionnalité directe la quantité totale d'énergie solaire susceptible de pénétrer dans le bâtiment. En outre, cette quantité dépend aussi de (Izard J.-L., Guyot A., 1979) :

- ✚ **L'environnement extérieur** : celui-ci commande la durée réelle de l'ensoleillement utile de la baie : montagnes, collines, arbres à feuilles persistantes, autres immeubles...etc.
- ✚ **L'orientation** : elle détermine la durée d'ensoleillement, mais aussi la répartition diurne et annuelle de l'énergie incidente.
- ✚ **Le type du vitrage utilisé** : il influe sur la quantité d'énergie transmise à l'intérieur en fonction du rayonnement incident et des propriétés thermiques du verre utilisé.
- ✚ **L'architecture du bâtiment** : les façades contenant les baies vitrées peuvent avoir certains masques qu'il convient de connaître l'impact sur l'ensoleillement réel comme les linteaux, les balcons avancés, ...etc.
- ✚ **Les brises soleil** : ce sont des dispositifs destinés à régler la pénétration solaire à l'intérieur du bâtiment ou même à l'interdire en saison chaude.

III.2. 2. 5. 1. Les surfaces vitrées dans les bâtiments scolaires

Le pourcentage des fenêtres est un aspect fondamental pour l'équilibre thermique et lumineux dans les salles de cours. Les bâtiments scolaires requièrent des niveaux élevés d'éclairage et de ventilation naturelle. A cet effet, les baies vitrées prennent des dimensions importantes. Cependant, cela peut affecter considérablement le confort thermique notamment en l'absence des protections solaires (Bouchahm G., 2008.). En été, les gains solaires directs transmis à travers le vitrage peuvent soumettre les occupants à des températures radiantes inconfortables. En hiver, bien qu'elles jouent le rôle des capteurs solaires, les déperditions calorifiques à travers ces surfaces peuvent être considérables. Une attention particulière quant à leur dimension, orientation et protection selon le type du climat est importante.

III.2. 2. 6. Les parois opaques

L'enveloppe d'un bâtiment est le siège d'un flux de chaleur entre le climat extérieur et l'ambiance intérieure. Quantitativement, ce flux dépend de l'épaisseur des matériaux et leurs propriétés thermophysiques. Les parois opaques transmettent la chaleur résultante de leur exposition au rayonnement solaire comme suit : l'air ambiant extérieur et le rayonnement solaire chauffent les surfaces externes de l'enveloppe, la grandeur de la température de cette surface dépend de sa couleur et de son orientation. La chaleur résultante chauffe la masse du mur et se transmet vers la surface intérieure. Cette chaleur est transmise à son tour vers l'air

ambiant intérieur par convection et rayonnement. Parler des parois opaques, nous mène à définir les principales caractéristiques thermiques des matériaux de construction.

- ✚ **La conductivité thermique λ (W/m.K):** elle indique la quantité de chaleur qui se propage par conduction thermique en 1 seconde, à travers une surface de 1 m² du matériau, épais d'un 1 m, lorsque la différence de température entre les deux faces est de 1°C. Plus la conductivité thermique est élevée, plus le matériau est conducteur de chaleur. Plus elle est faible, plus le produit est isolant.
- ✚ **La capacité thermique ρC (Wh/m³.K) :** c'est la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température du matériau de 1 °C. Plus la capacité thermique d'un matériau est grande, plus la quantité d'énergie qu'il peut stocker et à lui apporter pour élever sa température est importante.
- ✚ **L'effusivité thermique b (W.h^{1/2} /m².K) :** l'effusivité thermique d'un matériau caractérise sa capacité et sa rapidité à échanger de l'énergie avec son environnement. Plus l'effusivité est élevée, plus le matériau absorbe de la chaleur.
- ✚ **La diffusivité thermique a (m² /h) :** c'est la capacité d'un matériau continu à transmettre un signal de température d'un point à un autre de ce matériau. Elle dépend de la capacité du matériau à conduire la chaleur (sa conductivité thermique) et de sa capacité à stocker la chaleur (capacité thermique). Plus la diffusivité est faible, plus le front de chaleur mettra du temps à traverser l'épaisseur du matériau (Chabi M., 2012).

III.2. 2. 6.1. Effets de l'inertie thermique

Dans les conditions courantes, un flux de chaleur s'établit dans les matériaux exposés à des conditions climatiques données. Le maximum de température atteint sur la face extérieure n'est pas immédiatement senti sur la face intérieure de la paroi. Le temps de déphasage¹ est en fonction de l'inertie thermique des matériaux. Ainsi, «l'inertie thermique est une notion qui recouvre à la fois l'accumulation de chaleur et sa restitution, avec un déphasage dépendant des caractéristiques physiques, dimensionnelles et d'environnement de la paroi de stockage» (Liébard A. et De Herde A., 2005). L'inertie thermique a un effet positif sur l'ambiance intérieure du bâtiment en limitant l'inconfort dû aux fortes variations des températures (Fig. III.6).

Les caractéristiques de l'inertie thermique peuvent être regroupées en deux grandeurs : la diffusivité et l'effusivité thermique. Pour réduire l'amplitude du flux, les parois doivent

¹ Le déphasage correspond au temps que met une onde de chaleur pour traverser une paroi.

présenter une faible diffusivité et une forte effusivité (Liebard A., De Herde A., 2005). En outre, l'épaisseur du matériau joue aussi un rôle primordial, plus les murs sont épais et les matériaux sont lourds, plus l'inertie thermique est importante.

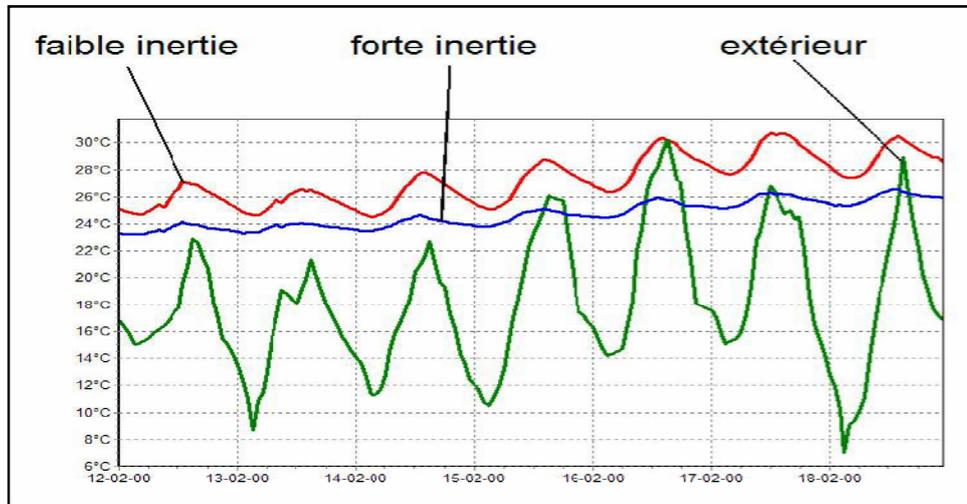


Figure III.6 : Evolution des températures dans une maison individuelle pour deux niveaux d'inertie.

Source: (Peuportier B., Thiers S., 2006)

III.2. 2. 6. 2. Effets de l'isolation thermique

Une grande partie des déperditions thermiques se produit à travers l'enveloppe des constructions. Les grosses fuites s'effectuent notamment par les surfaces : toitures, murs et vitrages. Les joints entre les parois, appelés ponts thermiques, laissent également fuir la chaleur, d'où l'importance d'isoler. Le rôle de l'isolation est de préserver le confort en réduisant les échanges thermiques à travers l'enveloppe.

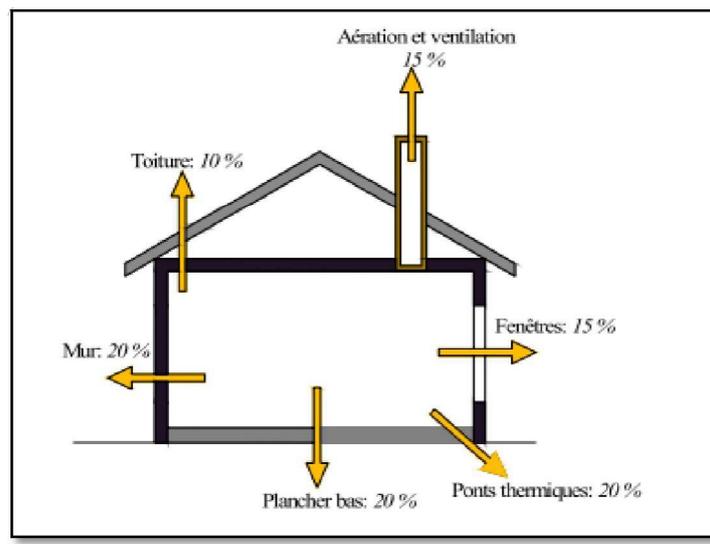


Figure III.7 : Répartition moyenne des déperditions dans un local.

Source : (ministère de l'emploi, de la cohésion sociale et du logement Français, 2005)

L'isolation thermique peut être appliquée en rénovation ou bien intégrée directement dès la conception. En effet, l'avènement de l'isolant comme matériau a libéré l'architecture de la contrainte de la forme, qui devait être compacte pour limiter les déperditions. De nos jours, plus les niveaux d'isolation thermique sont poussés, plus l'architecte peut jouer librement avec l'enveloppe sans pour autant provoquer des consommations ou des déperditions excessives (Charbonnier S., Parant C., Pouget A., 1992). Dans les caractéristiques des isolants, deux principaux paramètres thermophysiques interviennent :

✚ **La conductivité thermique (λ)**

✚ **La résistance thermique (R) :** elle traduit la capacité d'un matériau à empêcher le passage de la chaleur pour une épaisseur donnée. Elle correspond au rapport de l'épaisseur d'un matériau à sa conductivité thermique (e/λ). Elle s'exprime en ($m^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$). Ainsi, elle permet de quantifier le pouvoir isolant des matériaux selon l'épaisseur donnée. Plus R est élevée, meilleure est la performance d'isolation.

✚ **Les procédés d'isolation**

Il existe principalement deux possibilités d'isoler une construction, l'isolant peut être placé à l'intérieur ou à l'extérieur, ce sont les procédés les plus courants. Il existe un troisième procédé intégré au mur qui est l'isolation répartie.

a) L'isolation des murs par l'extérieur

Ce procédé consiste à installer l'isolant sur la surface extérieure du mur avec un système relativement simple à la pose. L'isolation par l'extérieur est une solution très efficace, elle présente plusieurs avantages notamment :

- ✚ La facilité et la rapidité de sa mise en œuvre ;
- ✚ Elle permet de supprimer la majorité des ponts thermiques ;
- ✚ Elle augmente la durabilité des façades en les protégeant des variations des températures et des effets de l'eau;
- ✚ Elle permet de placer les murs porteurs (lourds) du côté intérieur et donc de renforcer l'inertie thermique du bâtiment ;
- ✚ Elle a l'avantage de ne pas modifier les surfaces habitables.

b) L'isolation des murs par l'intérieur

C'est la technique la plus couramment utilisée du fait qu'elle est la moins onéreuse et la mieux maîtrisée. Néanmoins, l'isolation intérieure annule l'inertie thermique de la paroi isolée et entraîne une réduction de la surface des pièces. En outre, ce type d'isolation ne permet pas de traiter tous les ponts thermiques.

III.2. 2. 7. Effets des protections solaires

L'effet thermique et lumineux d'une paroi vitrée dépend, dans une grande mesure, de la présence d'une protection solaire. Il s'agit de tout corps empêchant le rayonnement solaire d'atteindre une surface qu'on souhaite ne pas voir ensoleillée. Leurs principaux rôles sont :

- Réduire les surchauffes dues aux rayonnements solaires ;
- Améliorer l'isolation en augmentant le pouvoir isolant des fenêtres ;
- Contrôler l'éblouissement.

Les protections solaires peuvent être intégrées à l'architecture comme les porches et les vérandas ou appliquées comme les stores, persiennes, volets...etc. Elles peuvent également être fixes ou mobiles, extérieures ou intérieures, verticales ou horizontales. Elles peuvent aussi être liées à l'environnement (végétation) et servir comme systèmes d'isolation. Certains dispositifs permettent de remplir tous ces rôles (Liebard A., De Herde A., 2005). Le choix de la forme d'une occultation dépend de la latitude, de l'orientation des façades et des profils des masques environnants. Les deux grandes classifications des protections solaires sont basées sur leur mobilité et leur position par rapport au vitrage.

III.2. 2. 7. 1. Classification des protections solaires selon leur mobilité

■ Les protections intérieures et extérieures mobiles

Les protections solaires mobiles peuvent toujours occulter le rayonnement solaire du fait qu'elles peuvent être réglées en fonction de la direction de ce dernier. L'emploi d'écrans mobiles permet donc une meilleure adaptation de la protection aux besoins réels des utilisateurs. Les apports solaires peuvent être modulés par le retrait partiel ou complet de la protection ou par son inclinaison. Cette modulation peut être gérée par l'occupant de façon manuelle comme elle peut être automatique. Parmi ces dispositifs on peut trouver notamment les stores, volets, persiennes, écrans ...etc.

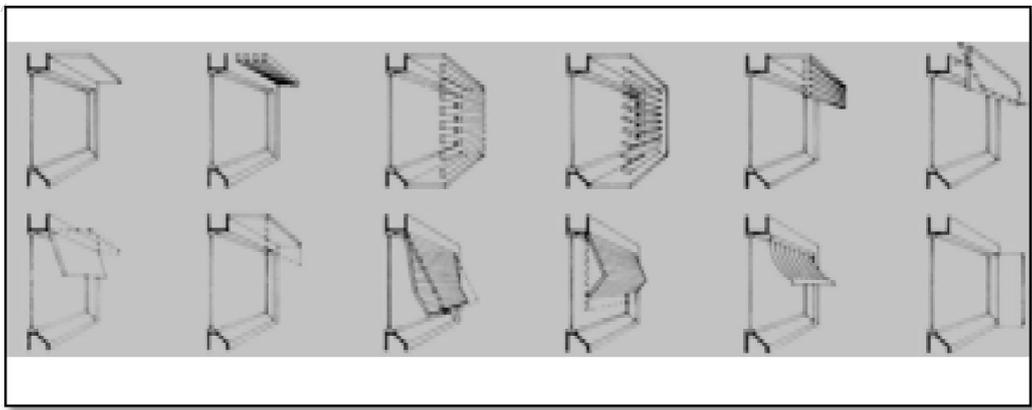


Figure III.8: Différents dispositifs de protections extérieures mobiles.

Source : (TAREB, 2004)

✚ Les protections extérieures fixes :

Les systèmes d'occultation fixes ne peuvent pas être réglés en fonction du rayonnement solaire. Leur efficacité dépend de leur forme géométrique qui doit être en relation avec les variations journalières ou annuelles de rayonnement (Givoni B., 1978). Ce sont généralement des éléments architecturaux qui contribuent à la composition des façades.

III.2. 2. 7. 2. Classification des protections solaires selon leur position

Elles se présentent généralement sous trois configurations :

✚ Les auvents : appelés aussi les pare-soleil horizontaux

Ils sont constitués d'une avancée au-dessus de la surface réceptrice. Ils peuvent être intégrés à la construction (auvent, débord de toiture, balcon, ...etc.), ou bien appliqués plus tard. Ils sont préconisés pour les façades orientées au Sud. L'occultation au rayonnement direct est bonne en été et la casquette laisse passer le soleil quelle que soit l'orientation de la façade en hiver.

✚ Les flancs

Ce sont des plans verticaux placés au côté de la surface réceptrice ; ils sont préconisés pour les façades orientées à l'Est et à l'Ouest. Selon Izard J.-L. et Guyot A., (1979), les orientations les plus importantes à traiter mais aussi les plus délicates sont les orientations centrées vers l'Est et surtout l'Ouest pour lesquelles le soleil encore chaud se présente assez bas sur l'horizon. L'occultation par les flancs est assez forte à l'Est et à l'Ouest en hiver et faible en été.

✚ Les loggias

Elles combinent les pare-soleil horizontaux et verticaux. La protection solaire est bonne en été du Sud-Est au Sud-Ouest ; elle est moyenne toute l'année à l'Est et à l'Ouest.



Figure III.9 : Types de protection selon la position par rapport au vitrage.

Source : (Mazari M., 2012)

III.2. 2. 8. Effets de la couleur des surfaces

Les températures superficielles dues à l'action directe des rayons du soleil varient fortement en fonction de la couleur. En effet, les couleurs sombres se caractérisent par des facteurs d'absorption importants comparativement aux couleurs claires. La figure III.10 donne le coefficient d'absorption pour différents matériaux et couleurs.

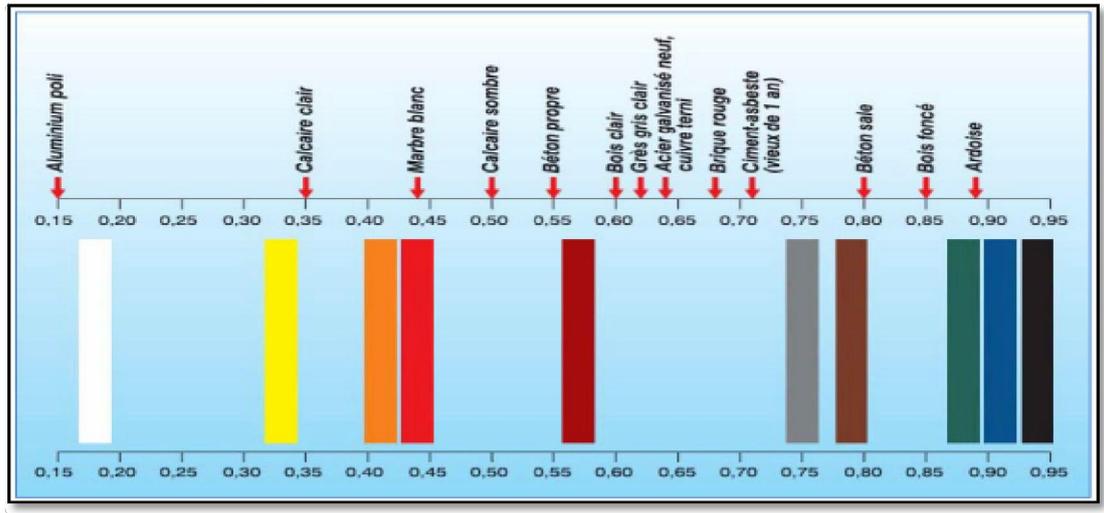


Figure III.10: coefficients d'absorption pour différents matériaux et couleurs.

Source : (Liebard A., De Herde A., 2005)

III.2. 2. 9. Effets de la ventilation naturelle

La ventilation naturelle est l'un des aspects les plus importants dans l'approche du confort thermique par ses effets sur la température et la qualité de l'air intérieur. Dans ce contexte, B. Givoni souligne que «les conditions de ventilation à l'intérieur d'un bâtiment sont parmi les principaux facteurs déterminant de l'hygiène de l'homme, de son confort et de son bien-être». En été, la ventilation apporte de la fraîcheur et accroît les échanges thermiques entre le corps et l'air ambiant par convection et évaporation de la sueur. En hiver, la ventilation peut être une source d'inconfort dû aux déperditions thermiques, il suffit alors de fermer les fenêtres pour empêcher tout écoulement d'air.

La ventilation naturelle est provoquée lorsqu'il y a des écoulements d'air reposant sur les effets du vent et les variations de la densité de l'air dues aux différences de températures. Par ailleurs, la capacité de ventiler naturellement dépend aussi du potentiel des parois extérieures et intérieures du bâtiment à laisser circuler les flux d'air. L'efficacité de la ventilation dépend donc des phénomènes physiques d'écoulement d'air et de la position et dimensions des ouvertures dans le bâtiment.

III.3. Spécificités des ambiances thermiques dans les bâtiments scolaires

III.3.1. L'importance des apports internes

Dans les salles de cours, les gains internes découlent essentiellement de la chaleur fournie par le métabolisme des occupants et l'éclairage artificiel. Quand la lumière naturelle est correctement assurée, les apports dus à l'éclairage sont négligeables. La présence humaine s'accompagne d'une production de chaleur qui contribue considérablement à l'augmentation de la température intérieure des salles de classe. Selon une étude faite par Ministère de l'Education Nationale Française, pour les régions relativement peu ensoleillées, les apports internes sont aussi importants que les apports solaires. La chaleur dégagée par les élèves d'une classe peut compenser environ 4 °C d'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur (Ministère de l'Education Nationale Française, 1980). La figure III.11 représente l'évolution des températures dans une salle de classe sur une période de cours de 45 minutes. Le volume est chauffé à une température de base de 18 °C et l'éclairage constitue un apport interne supplémentaire constant. La hausse des températures jusqu'à 25 °C est due à la seule présence des écoliers (Liebard A., De Herde A., 2005).

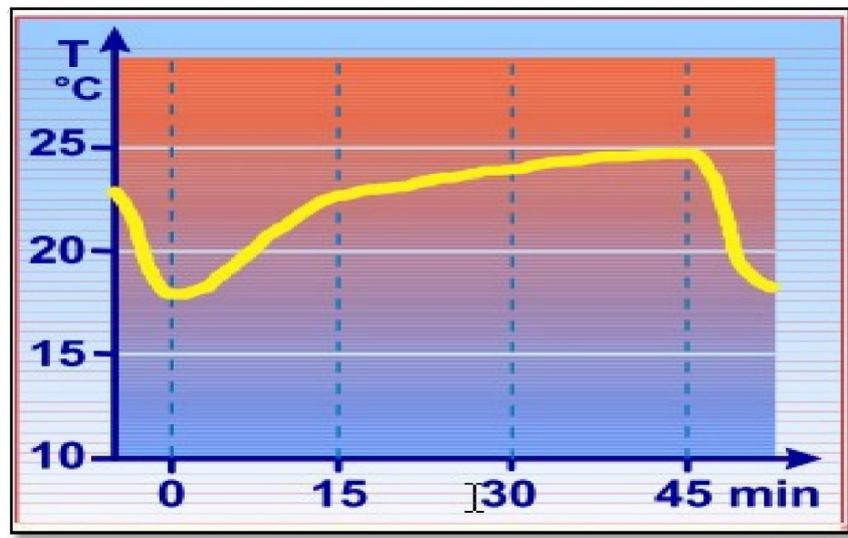


Figure III.11 : Evolution des températures due à la présence des élèves dans une salle de cours.

Source : (Liebard A., De Herde A., 2005)

III.3.2. L'occupation intermittente

Dans les établissements scolaires, les conditions de confort ne doivent être maintenues que pendant les périodes de scolarisation. En effet, les bâtiments scolaires ne sont occupés que pendant trois quart de l'année, cinq jours par semaine et seulement pendant la journée.

Ainsi, l'occupation effective de ces équipements ne représente que 40% de la durée totale de la saison de chauffe (Ministère de l'Education Nationale Française, 1980).

III.3.3. L'importance du renouvellement d'air

Vu la densité d'occupation dans les bâtiments scolaires, l'air se charge en quantité de gaz carbonique et connaît une élévation de température et d'humidité. Une ventilation pour assurer le renouvellement sanitaire (apport d'air frais, évacuation des odeurs,...etc.) et le rafraîchissement est nécessaire à la bonne santé des occupants. Les débits d'air neuf sont bienvenus en été, particulièrement dans les climats chauds et humides car ils rafraîchissent l'ambiance. Toutefois, ils peuvent être une source importante de déperditions thermiques en hiver.

III.3.4. La diversité des locaux

Dans les bâtiments scolaires, les différents locaux (salles de cours, bibliothèque, réfectoire,...etc.) ne sont pas tous occupés en même moment et ne nécessitent pas tous les mêmes qualités thermiques. Les espaces peu utilisés comme les salles de TP ou les espaces de circulation seront moins chauffés qu'une salle de cours. Ainsi, pour optimiser l'approche thermique, il est important de bien analyser les conditions de fonctionnement de chaque local. Cela permet d'adapter chaque espace à la qualité thermique qui lui convient selon le type d'activité et le taux de fréquentation. La connaissance de la nature des divers locaux permet de mieux déterminer les besoins énergétiques. Cela peut influencer considérablement sur les choix relatifs à l'organisation spatiale du bâtiment et sur le choix des installations de chauffage et de ventilation.

III.4. Facteurs affectant le confort thermique des occupants

III.4. 1. Les paramètres liés à l'ambiance thermique

Plusieurs facteurs interagissent dans l'équilibre thermique des occupants. Les six paramètres de base des échanges thermiques entre l'homme et son environnement sont : la température de l'air, la température du rayonnement, l'humidité de l'air, la vitesse de l'air, l'activité et la vêtue du corps humain. En outre, la perception thermique d'un environnement peut être également influencée par des variables physiologiques et psychologiques.

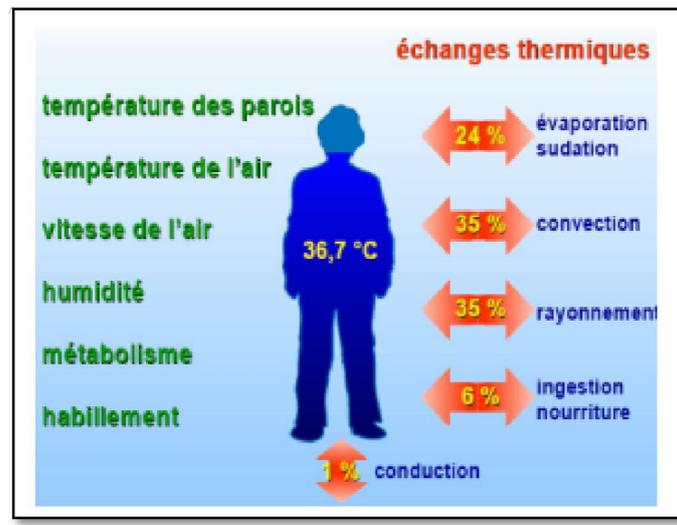


Figure III.12 : Les échanges thermiques du corps humain avec son environnement.

Source : (Liebard A., De Herde A., 2005)

Pour mieux comprendre le mécanisme de fonctionnement de l'ensemble des paramètres agissant dans l'équilibre thermique des occupants, il est important de faire un rappel des modes de transfert de chaleur entre le corps humain et son environnement qui sont :

- **L'échange par conduction** : il se produit par le contact physique direct entre le corps humain et les objets à son contact par simple interaction moléculaire. À titre d'exemple, lorsque l'individu exerce une activité de bureau et que son corps se trouve fréquemment en contact avec le mobilier.
- **L'échange par convection** : il se produit entre un fluide en mouvement qui est généralement l'air et le corps humain. Il dépend de la température de la peau, la température et de la vitesse de l'air. L'influence des échanges convectifs sur le bilan thermique de l'individu est plus grande tant que la vitesse de l'air est importante.
- **L'échange par rayonnement** : la chaleur se transmet entre le corps humain et les surfaces et objets de son environnement par émission et absorption de rayonnements électromagnétiques. L'échange augmente avec l'augmentation de la surface du corps exposée.
- **Les échanges évaporatoires** : dans le corps humain, ils se présentent sous deux formes : la respiration et la sudation. La respiration est un phénomène d'évaporation permanent et continu ; tandis que la sudation est un processus de régulation qui se déclenche dès que le corps n'est plus en équilibre thermique.

Les paramètres qui agissent sur le confort thermique des occupants liés à l'ambiance thermique sont :

III.4. 1.1. La température résultante

L'environnement thermique d'un espace influe sur le corps humain par la combinaison des températures de l'air et des surfaces environnantes. En effet, à la même température de l'air, la sensation de confort change suivant que l'on se trouve près d'une surface froide ou chaude. La température résultante ou appelée la température opérative est un indicateur simple du confort thermique qui prend en compte donc l'effet de la convection et du rayonnement. Sa valeur correspond à la moyenne pondérée de la température de l'air et de la température radiante. Elle est calculée selon l'équation suivante : (Roulet C.A., 2008).

$$T_R = aT_a + (1-a)T_p \quad \text{où} \quad a = 0.5 + 0.25v$$

T_R : Température résultante

T_a : Température de l'air

T_p : Température des parois (radiante)

V : Vitesse de l'air

Si la vitesse de l'air est nulle ou négligeable, la température résultante devient la moyenne de la température de l'air et de la température radiante. (Roulet C.A., 2008).

$$T_R = (T_a + T_p)/2$$

Parler de la température résultante, nous mène à définir la température de l'air ambiant et la température moyenne radiante.

- ✚ **La température de l'air ambiant (T_a)** : c'est la température du fluide qui circule autour d'un occupant. La température de l'air contrôle directement les échanges par convection qui est l'un des principaux termes du bilan thermique d'un individu.
- ✚ **La température moyenne radiante (T_p)** : elle est définie comme la moyenne pondérée des températures des surfaces constituant l'espace dans lequel se trouve l'individu. Elle détermine la perte de chaleur du corps par rayonnement vers les surfaces voisines.

III.4. 1.2. La vitesse de l'air

La vitesse de l'air affecte le corps humain de deux manières différentes. Elle détermine l'échange de chaleur convectif du corps et la capacité évaporative de l'air et par conséquent agit sur le rendement de la sueur (Givoni B., 1978). En augmentant la vitesse de l'air autour du corps, les pertes thermiques augmentent. Généralement, la vitesse de l'air intervient dans la sensation de confort dès qu'elle est supérieure à 0,2 m/s.

III.4. 1.3. L'humidité relative

L'humidité relative est le rapport entre la quantité de l'eau contenue dans l'air sous forme de vapeur, à la température ambiante, et la quantité maximale qu'il peut contenir. L'humidité de l'air n'affecte pas directement la charge calorifique s'exerçant sur le corps mais, détermine la capacité de l'évaporation de l'air et donc l'efficacité de refroidissement de la sueur (Givoni B., 1978). Entre 30 % et 70 %, l'humidité relative a peu d'influence sur la sensation de confort thermique. Par contre, une humidité trop forte dérègle la thermorégulation de l'organisme car l'évaporation à la surface de la peau ne se fait plus, ce qui augmente la transpiration.

III.4. 1.4. Les conditions du confort liées à l'ambiance thermique dans une salle de cours

Pour les élèves des rangs moyen et secondaire, l'activité physique est légère dans la plupart des séances de cours. De ce fait, certaines sources d'inconfort se font sentir de façon plus importante. Les conditions majeures pour l'obtention du confort thermique telle que dictées par la norme ISO 7730 sont principalement :

- ✚ L'équilibre du bilan thermique de l'individu sans que ses mécanismes de régulation ne soient trop sollicités.
- ✚ Absence d'inconforts locaux dus :
 1. À la sensation du courant d'air : la perception d'un courant d'air par certaines parties du corps peut engendrer une situation de gêne. La norme recommande une vitesse d'air moyenne inférieure à 0,15 m/s en hiver et à 0,25 m/s en été lors d'un travail sédentaire.
 2. À l'asymétrie du rayonnement : il est dû à une différence significative de température entre les parois telles qu'un plancher chauffé ou un vitrage froid. Moujalled B., (2007) a conclu que l'asymétrie des températures radiantes doit être inférieure à 10 °C pour les parois verticales et 5 °C pour un plafond.
 3. Au gradient vertical : la température de l'air a tendance d'augmenter du plancher jusqu'au plafond, donc les températures sont plus élevées au niveau de la tête. La norme n'admet pas que la différence de températures entre les pieds et la tête soit supérieure à 3 °C.
 4. À la température du sol : la température trop chaude des planchers ou trop froide engendre le risque d'inconfort au niveau des pieds. La norme ISO 7730 recommande une température du sol comprise entre 19 et 26°C.
 5. À l'humidité excessive : le taux d'humidité trop élevé ou très bas provoque des sensations d'inconfort.

III.4. 2. Les paramètres du confort thermique liés aux occupants.

III.4. 2.1. Le métabolisme

Les conditions propres à l'individu, entre autre son métabolisme, jouent un rôle primordial sur la perception du confort thermique. Le corps humain est le siège de la production de la chaleur qu'on nomme métabolisme énergétique. En effet, à partir de la combustion des aliments, l'organisme humain produit l'énergie. Une grande partie de cette énergie est transformée en chaleur qui sera plus au moins importante selon l'activité.

Le métabolisme est représenté par l'effort physique dépensé dans une activité, rapporté à l'unité de surface du corps de l'individu, il est exprimé en W/m^2 ou en met. Le tableau suivant donne le métabolisme spécifique en met et la quantité de la chaleur totale à dissiper correspondante pour un individu normal d'âge moyen (Neuf, 1978).

Activité	Chaleur du métabolisme	
	met	W
Sommeil	0.7	75
Assis	1.0	107
Debout	1.2	103
Travail de bureau	1.2	130
Enseigner	1.6	170
Marche horizontale	2.2	240
Marche pente 5%	3.25	315
Sport ; Basket-ball	7.60	775

Tableau III.1: Chaleur métabolique selon différentes activités.

Source : (Neuf, 1978)

III.4. 2.2. L'habillement

Les vêtements constituent une sorte de barrière aux échanges de chaleur convectifs et radiatifs entre le corps et son environnement et interviennent dans le processus de l'évaporation de la sueur. Ils réduisent aussi la sensibilité du corps aux variations de la température et de la vitesse de l'air (Givoni B., 1978). En effet, les vêtements ne modifient pas les principes physiques des échanges de chaleur mais influent ces échanges en modifiant les coefficients de convection, de rayonnement et d'évaporation. Pour pouvoir étudier l'impact du niveau d'habillement sur le confort thermique, une unité de mesure lui a été attribuée : le

Clo². La nature du tissu et la coupe des vêtements influent aussi les échanges thermiques avec l'environnement.

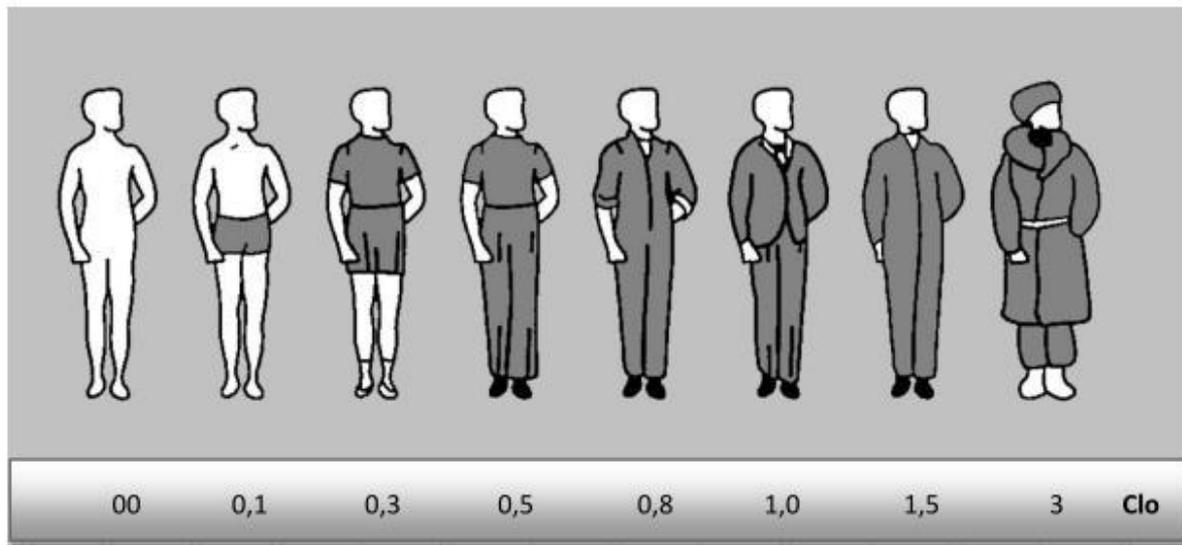


Figure III.13: valeurs exprimées en Clo des tenues vestimentaires en coton.

Source : (Mazari M., 2012)

III.4. 2.3. Le niveau d'adaptation

À tout déséquilibre thermique, l'homme répond par un ensemble de réactions. La possibilité de porter des ajustements personnels, sur-moi même, ou à l'environnement est fondamentale pour permettre aux occupants de s'adapter à leurs environnements. Les comportements des occupants peuvent être regroupés en deux catégories :

- ✚ **Ajustements personnels** : englobent l'ensemble des changements que porte l'homme sur son activité ou bien sa vêtue. C'est le cas par exemple de porter une veste en cas de sensation de froid.
- ✚ **Ajustements portés à l'environnement** : l'occupant réagit par le contrôle manuel des installations (ouvrir ou fermer une fenêtre ou une porte, mise en marche d'un ventilateur...etc.). La figure III.14 illustre les principaux mécanismes comportementaux d'adaptation observés en milieu réel.

² Cette unité correspond à l'isolement vestimentaire, 1 Clo = 0.155 m² °C.W-1.

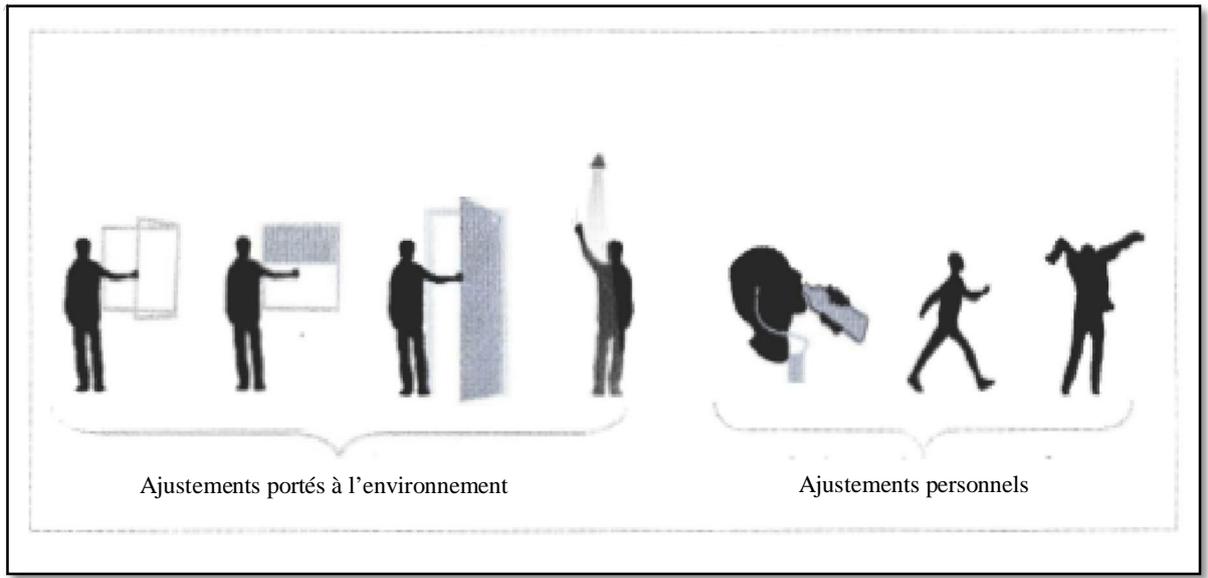


Figure III.14: principaux comportements d'adaptations observés en milieu réel.

Source : (Celismercie S. J., 2009)

III.4. 2.4. L'aspect physiologique du confort thermique

Les facteurs physiologiques ont un rôle important à jouer dans l'équilibre thermique du corps humain. «L'homme est un homéotherme, il assure le maintien de sa température centrale à un niveau relativement constant proche de 37 °C. Autour de cette valeur de référence, les systèmes de régulation utilisent des mécanismes physiologiques et comportementaux pour assurer l'équilibre du bilan thermique» (Corinne M., 1999). L'adaptation physiologique se réfère aux réflexes thermorégulateurs du corps, c'est-à-dire aux mécanismes qui lui permettent de maintenir une température stable.

On note les actions du corps envers une ambiance chaude par une dilatation des vaisseaux sanguins, une augmentation de la circulation sanguine et de la sudation (l'évaporation de la sueur absorbe de la chaleur). Quant à ses actions envers une ambiance froide, on note une contraction des vaisseaux et le frissonnement pour augmenter la production de la chaleur.

III.4. 2.5. L'aspect psychologique du confort thermique

Il existe des facteurs intrinsèques à l'individu tel que l'âge, le poids, le régime alimentaire ou même la prise de médicaments qui influent sa perception du confort thermique (Havenith G. et al, 1998). L'acclimatation et les expériences thermiques que l'occupant a vécues jouent aussi un rôle important ; sous l'effet d'expositions répétées, l'homme développe

spontanément des ajustements adaptatifs qui lui permettent une meilleure tolérance à la chaleur ou au froid.

Par ailleurs, la relation avec les autres types de confort (olfactif, sonore, visuel,...etc.), la couleur des surfaces, la possibilité d'exercer ou non un contrôle sur l'ambiance intérieure sont autant de facteurs qui peuvent influencer la perception du confort thermique.

III.5. Évaluation du confort thermique

L'évaluation du confort thermique dans les bâtiments permet de mieux comprendre l'impact de la conception sur la qualité de l'ambiance et le confort des usagers. Plusieurs méthodes et approches ont été développées.

III.5. 1. Les indices thermiques

Afin d'évaluer les effets combinés des facteurs d'ambiance sur la sensation thermique et d'exprimer leur combinaison sous la forme d'un seul paramètre, des indices thermiques ont été développés (Givoni B., 1978). Primitivement, leur but était limité à l'estimation des effets combinés de la température de l'air, de l'humidité et de la vitesse de l'air sur la sensation thermique. Plus tard, il a été inclus la température radiante, puis, les effets du métabolisme, des vêtements et du rayonnement solaire. Il en résulte de ces progrès qu'un grand nombre d'indices ont été développés (Givoni B., 1978). Les principaux indices, couramment utilisés dans l'ensemble des normes de confort sont :

III.5.1.1. Les indices environnementaux simples

Pour une évaluation simplifiée du confort thermique, un ensemble de mesures qui prennent plus aux moins en considération les différents facteurs physiques de l'ambiance ont été développés comme indices de confort. Toutefois, ils revêtent un caractère limité pour la caractérisation complète du confort thermique du fait qu'ils ne prennent en considération que les paramètres physiques, nous citons :

- ✚ **La température de l'air ambiant (T_a)** : c'est l'indice le plus utilisé pour le contrôle des ambiances intérieures du fait qu'il ne présente pas de grandes difficultés de mesure. Il ne prend en considération que la température de l'air ambiant.
- ✚ **La température opérative (T_{op})** : c'est un indice de confort thermique intégrant deux paramètres physiques, la température de l'air ambiant et la température moyenne radiante.
- ✚ **La température équivalente (T_{eq})** : elle permet de prendre en considération les effets de la température de l'air, de rayonnement et de la vitesse de l'air.

✚ **La température effective (T_{ef})** : les facteurs qui rentrent dans cet indice sont : la température de l'air, l'humidité et la vitesse de l'air.

III.5.1.2. Les PMV et les PPD

Le PMV (Vote Moyen Prévisible) est un indice établi à partir du modèle Fanger (1970) pour caractériser le confort thermique. Il exprime l'appréciation moyenne d'une population dans un environnement donné et permet de mesurer une sensation thermique globale du corps humain à partir du métabolisme.

La valeur numérique de PMV peut se calculer à partir d'un système d'équations en fonction d'un certain nombre de paramètres: le métabolisme énergétique, la résistance thermique des vêtements, la température de l'air, la température moyenne de rayonnement et la vitesse de l'air. Ainsi, il peut être obtenu rapidement en mesurant les paramètres physiques et par la connaissance de l'isolement vestimentaire et l'activité de l'opérateur.

Par ailleurs, Fanger a développé un autre indice, le PPD (Pourcentage Prévisible D'insatisfaits) qui exprime la part des sujets insatisfaits. « Le minimum d'insatisfaction est de 5%, traduisant le caractère subjectif de l'évaluation du confort thermique et la difficulté d'obtenir, dans ce domaine, une unanimité sur le jugement » (Cordier N., 2007).

III.5. 2. Evaluation du confort thermique par des enquêtes in situ

Les enquêtes in situ visent à explorer le confort auprès des sujets sur leur lieu de vie ou de travail habituel. Les méthodes d'enquête sont aussi variées que leurs objectifs, elles peuvent comporter des mesures physiques, des questionnaires, des observations, des interviews...etc. L'avantage des enquêtes in-situ réside dans le fait qu'elles sont basées sur la synthèse de tous les facteurs affectant le confort thermique. Elles tiennent compte donc de sa complexité. D'après Moujalled B., les enquêtes in situ peuvent être classées en trois niveaux : (Moujalled B., 2007).

✚ **Niveau I** : des mesures physiques de la température de l'air, avec ou sans l'humidité de l'air, sont effectuées en un seul endroit dans le local. Elles peuvent être accompagnées d'une description succincte des sujets et de certaines caractéristiques du bâtiment.

✚ **Niveau II** : ce niveau correspond à l'enquête classique sur le confort thermique pendant laquelle les différentes grandeurs physiques de l'ambiance thermique (température de l'air, température radiante, vitesse de l'air et humidité de l'air) sont mesurées, et parallèlement à l'évaluation subjective de l'ambiance.

✚ **Niveau III** : par rapport au niveau précédent, les enquêtes doivent inclure des informations sur les vêtements et les activités des sujets pour permettre de calculer les

différents indices de confort, notamment le PMV et le PPD. Le confort déduit des ces indices peut être comparé à celui perçu par les sujets in situ.

III.5. 3. Les outils graphiques d'évaluation du confort thermique

Les diagrammes bioclimatiques sont l'aboutissement de la connaissance des variables climatiques afin de déterminer l'effet des caractéristiques architecturales et constructives sur le confort thermique dans les bâtiments.

Le premier diagramme bioclimatique a été proposé par V. Olgyay en 1953. Il a mis en évidence une zone de confort avec des plages d'été et d'hiver pour systématiser l'intégration des conditions climatiques dans la conception des bâtiments.

En 1973, Koenigsberger et al., ont élaboré la méthode basée sur les tableaux de Mahoney. Il s'agit d'une série de tableaux utilisés comme guide pour obtenir des bâtiments confortables et adaptés à leurs environnements. Ainsi, en fonction des données climatiques du site d'intervention, la méthode de Mahoney va aider l'architecte à prendre les meilleures décisions en phase d'esquisse.

B. Givoni en 1978 a remis en cause les diagrammes d'Olgyay. Il a établi un autre diagramme bioclimatique basé sur une méthode plus performante dans la mesure où il évalue les exigences physiologiques du confort en considérant la personne en état d'activité. Toutefois, ce diagramme représente des limites du fait que les zones de confort et de contrôle sont définies dès le départ. C'est donc un diagramme standard dont l'utilisation est étroite; son applicabilité est limitée à des régions spécifiques du monde (Badeche M, 2008).

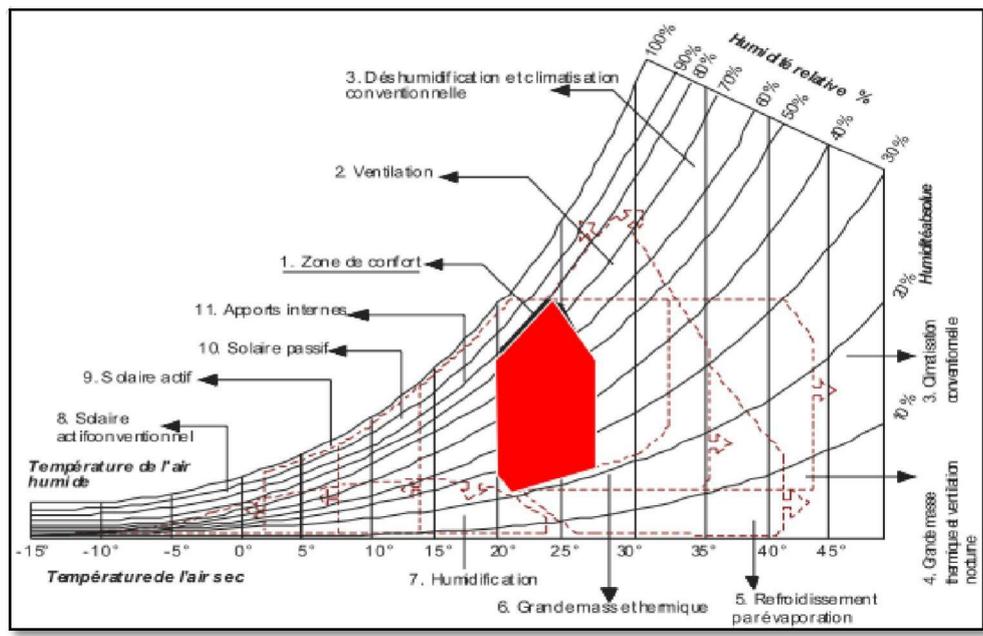


Figure III.15 : Diagramme bioclimatique de Givoni.

Source : (Givoni B., 1978)

En 1980, M. Evans et S. V. Szocolay ont critiqué les outils précédemment proposés à cause de l'incohérence entre les résultats du confort thermique calculés et le confort réel perçu par les sujets. Ces auteurs stipulent que la zone de confort doit être propre à chaque région, et doit tenir compte des caractéristiques du climat local (Benhalilou K., 2008).

III.5. 4. Les outils numériques d'évaluation du confort thermique (logiciels de simulation)

Avec l'évolution technologique, le secteur du bâtiment s'est vu assisté par l'outil informatique. « Par le terme logiciel de simulation du comportement dynamique des bâtiments, on entend un programme qui calcule, pour certains intervalles de temps, toutes les grandeurs déterminantes du bilan énergétique des bâtiments » (Liebard A., De Herde A., 2005). Les logiciels de simulation permettent d'estimer le comportement thermique et les consommations énergétiques d'un bâtiment à partir de ses propres caractéristiques (géométrie, matériaux, orientation...etc.) et les caractéristiques climatiques de son site d'implantation. Par ailleurs, ces outils permettent d'évaluer, de tester et de comparer entre plusieurs variantes possibles afin de valider des options (implantations, structure, ouvertures...etc.) susceptibles d'assurer le confort thermique.

Conclusion

Nombreux sont les facteurs influant les conditions thermiques des bâtiments. Ils se regroupent principalement en deux paramètres, ceux qui sont liés aux conditions climatiques extérieures et ceux qui sont liés à la conception du bâtiment. Par ailleurs, le corps humain pour assurer son équilibre thermique, réagit par un ensemble de réactions qui lui permettent de contrôler ses échanges avec son environnement afin d'assurer son confort. L'étude du confort thermique doit être menée en considérant ces différents aspects.

La nécessité d'évaluer les niveaux de confort dans les bâtiments a conduit à développer plusieurs méthodes. Ces dernières ont d'abord été abordées à travers des indices de confort déterminés par des expérimentations et des mesures. Suite aux indices thermiques, des tentatives ont été effectuées pour combiner les facteurs environnementaux sous forme d'outils graphiques et plus tard sous forme d'outils numériques. De par tous les outils précités, les enquêtes in situ sur lesquelles reposera notre travail d'investigation constituent l'un des moyens les plus privilégiés d'évaluation. Leur avantage est qu'elles soient basées sur la synthèse de tous les facteurs du confort thermique et donc tiennent compte de sa complexité.

DEUXIEME PARTIE : CAS D'ETUDE

**Quatrième chapitre : Choix et analyse
bioclimatique des cas d'étude et présentation de
la méthodologie d'investigation**

Introduction

Toute conception architecturale intégrée à son environnement est la résultante d'une bonne connaissance des paramètres climatiques et l'adaptation des éléments de la conception à ces paramètres. Ainsi, l'évaluation de la qualité thermique et environnementale des bâtiments s'effectue par l'étude d'un ou plusieurs aspects relatifs aux bâtiments eux-mêmes et à l'environnement dont ils s'inscrivent.

Dans le but de cerner les principaux problèmes du confort thermique dans les bâtiments scolaires, ce chapitre se développera principalement sur deux aspects. D'une part, il sera présenté l'aspect géographique, climatique et bioclimatique de la ville de Tizi-Ouzou. D'autre part, il sera objet de mettre en exergue les différents types et les caractéristiques des bâtiments scolaires d'enseignements moyen et secondaire. C'est à la base d'une analyse bioclimatique conjuguée à la connaissance des caractéristiques architecturales et constructives de ces bâtiments que les problèmes relatifs à leur conception sont recensés et qu'un jugement sur la qualité de l'ambiance thermique est objectivement porté.

Le volet pratique de ce travail est basé sur l'usage de deux outils de recherche à savoir : les mesures in situ et l'enquête par questionnaire. Il sera également objet dans ce chapitre de présenter la méthodologie et le protocole suivis dans le travail d'investigation sur terrain.

IV.1. Présentation et étude climatique de la ville de Tizi-Ouzou

IV.1.1. Présentation et situation de la ville de Tizi-Ouzou

La ville de Tizi-Ouzou est située au Nord de l'Algérie. Elle est à 100 km à l'Est de la capitale, à 40 km du massif du Djurdjura et à 30 km au Nord des côtes méditerranéennes. Elle est enserrée par le massif du Belloua (de 650 m d'altitude) et le massif de Hasnaoua (de plus de 600 m d'altitude).



Figure. IV.1 : situation de la ville de Tizi-Ouzou.

Source : <http://avifrance.fr/gd/Langue-Kabyle.htm>

IV.1.2. Le climat de la région de Tizi-Ouzou

La ville de Tizi-Ouzou est située à une latitude de 36°42 au Nord, une longitude de 04°03 à l'Est et une altitude de 188 m. Elle est caractérisée par un climat méditerranéen tempéré et doux ; il est frais et pluvieux en hiver, chaud en été. En raison des massifs de montagnes qui l'entourent, la chaleur en été peut être suffocante car l'air marin se heurte au relief montagneux qui l'empêche d'atteindre la ville.

D'après la classification donnée par le Ministère de l'habitat (1993), la ville de Tizi-Ouzou est localisée dans la zone H1a d'hiver et E1 d'été dont :

- La zone H1a : subit l'influence de la mer (littoral – mer, altitude < 500m), caractérisée par un hiver doux avec des amplitudes faibles.
- La zone E1 : subit l'influence de la mer avec des étés chauds et humides, l'écart des températures diurnes et nocturnes est faible.

IV.1.3. Etude climatique de la ville de Tizi-Ouzou

IV.1.3.1. Ensoleillement et durée d'insolation

À Tizi-Ouzou, le rayonnement solaire est une composante importante. Le nombre d'heures d'ensoleillement au cours de l'année est environ 2675,6 en moyenne. Le mois de Décembre présente la durée d'ensoleillement la moins importante, en moyenne 144 heures ; tandis que le mois de Juillet est le plus ensoleillé de l'année, en moyenne 320 heures. Ces valeurs indiquent l'importance du rayonnement solaire dans la région de Tizi-Ouzou qui peut être une source d'énergie gratuite pour le chauffage solaire passif en hiver mais aussi, une source de surchauffe en été.

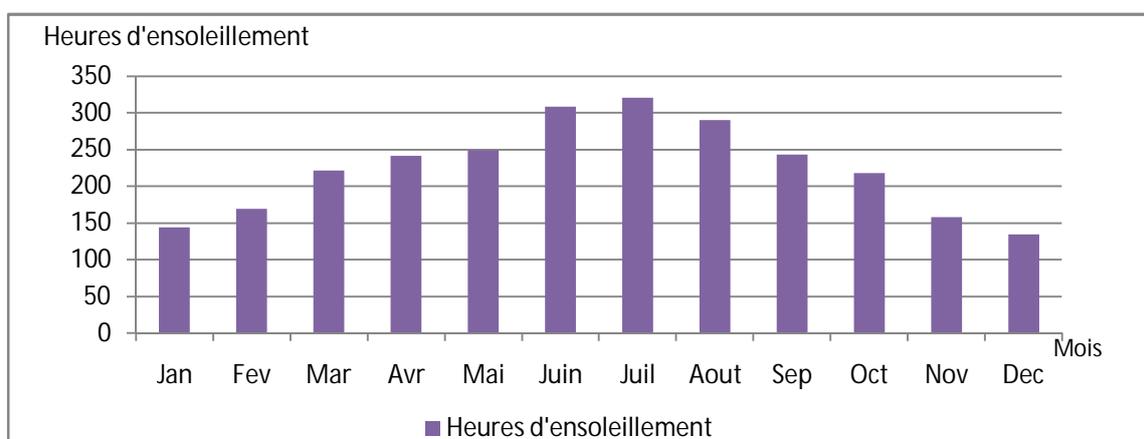


Figure. IV.2 : Moyennes de durée d'insolation mensuelle à Tizi-Ouzou de 2001/2010.

Source : graphe établi à partir des données de l'office national météorologique de Tizi-Ouzou, 2014.

IV.1.3.2. Les températures de l'air

Le climat de Tizi-Ouzou est caractérisé par une saison chaude qui s'étend du mois de Mai au mois d'Octobre et une saison froide qui s'étend du mois de Novembre au mois d'Avril. Les données recueillies pour la période de 2004 à 2013 indiquent que la température moyenne de l'air varie entre 9.5 °C et 27.8 °C. Les températures maximales sont atteintes au mois de Juillet avec une valeur maximale de 35.7 °C ; tandis que les températures minimales sont enregistrées le mois de Février avec une valeur minimale de 5.8 °C.

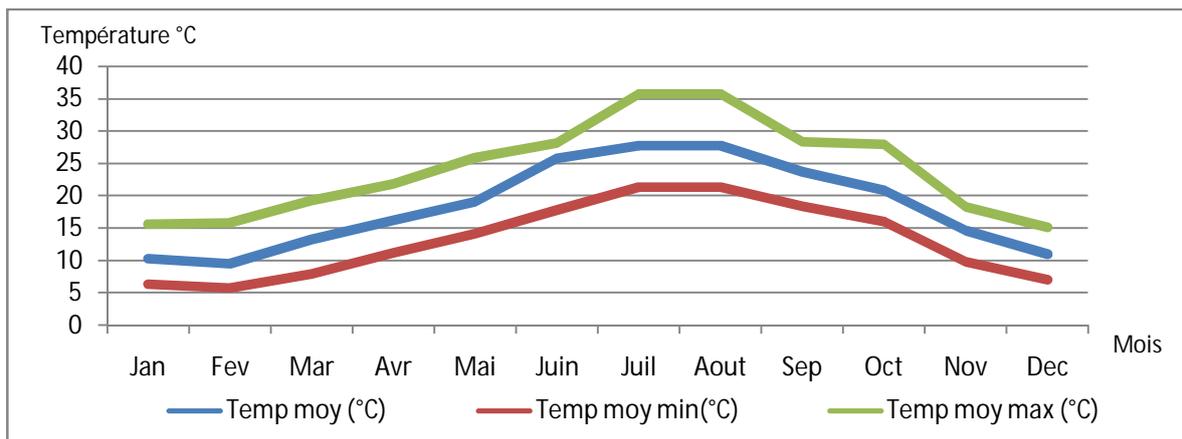


Figure. IV.3 : Températures moyennes mensuelles au cours de la période de 2004/2013.
Source : ONM de Tizi-Ouzou, 2014.

IV.1.3.3. L'humidité relative

La lecture des courbes d'humidité relative indique que la valeur moyenne dépasse les 50 % pour tous les mois de l'année ; elles varient entre 77 % et 52 %. La valeur moyenne maximale est atteinte au mois de Février avec une valeur 84 %. La valeur moyenne minimale est atteinte au mois de Juillet avec une valeur de 29 %.

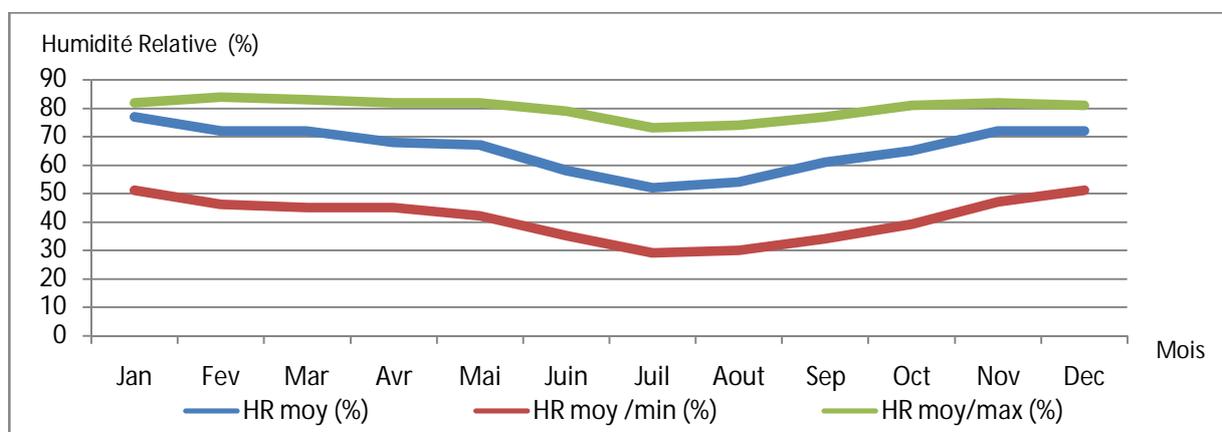


Figure. IV.4 : Valeurs d'humidité au cours de la période de 2004/2013.
Source : ONM de Tizi-Ouzou, 2014.

IV.1.3.4. Le vent

En période hivernale, les vents viennent de la direction Ouest. Ils sont caractérisés par le passage des masses d'air arctique déterminant ainsi une saison froide et humide. En été, en plus des vents dominants, la ville subit l'influence des vents très chauds et secs de Sud-Est. La vitesse moyenne minimale du vent est enregistrée au mois de Décembre avec une valeur de 0,95 m/s. La vitesse moyenne maximale est enregistrée en Juillet avec une valeur 2,32 m/s. Les vitesses du vent sont plus élevées durant les mois chauds que durant les mois froids.

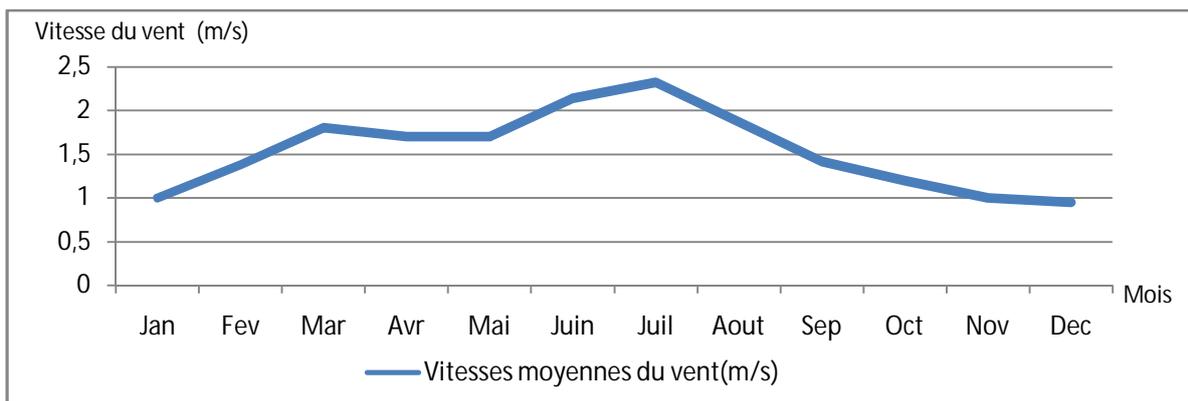


Figure. IV.5 : Vitesses moyennes mensuelles des vents au cours de la période de 2004/2013.
Source : ONM de Tizi-Ouzou, 2014.

IV.1.3.5. Les précipitations

La répartition annuelle des précipitations est marquée par une période pluvieuse qui s'étend sur les mois de Novembre, Décembre et Janvier ; une période sèche qui s'étend sur les mois de Juin, Juillet et Août et des périodes d'une moyenne pluviométrie pour les autres mois. Le mois de Décembre est le plus pluvieux avec une valeur moyenne de 141 mm. Le mois de Juillet est le plus sec avec une valeur moyenne de 1,57 mm.

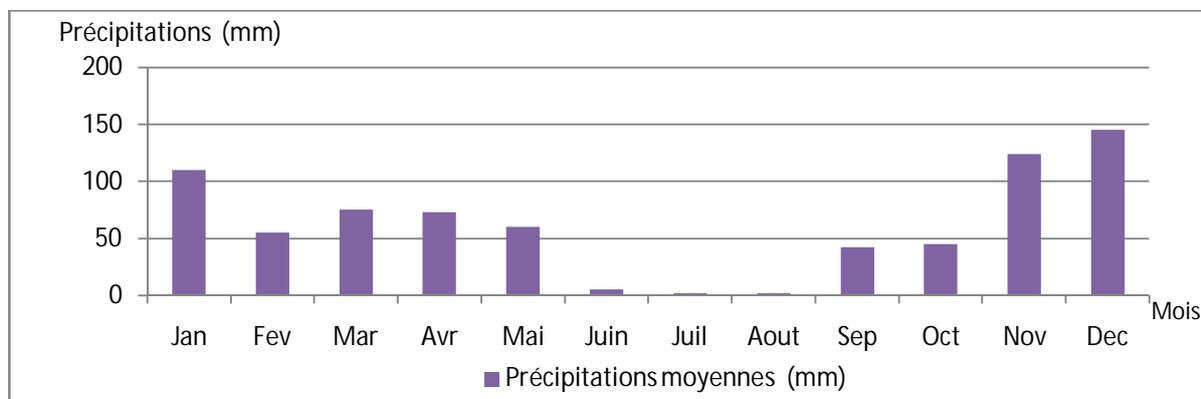


Figure. IV.6 : Valeurs des précipitations moyennes mensuelles de 2004/2013.
Source : ONM de Tizi-Ouzou, 2014.

IV.1.4.Synthèse

La ville de Tizi-Ouzou est caractérisée par un climat méditerranéen tempéré avec une saison hivernale relativement humide et une saison estivale beaucoup plus sèche.

Ayant fixé l'objectif d'évaluer le confort thermique dans les conditions climatiques les plus défavorables de l'année scolaire, nous constatons que la période convenable pour la campagne de mesures correspond aux mois de Décembre, Janvier ou Février pour l'hiver. Tandis que, Juillet et Août sont les mois les plus appropriés pour l'été. Néanmoins, les établissements scolaires ne sont pas occupés pendant la période estivale ; ainsi, les mois de Juin ou Septembre seront les plus rapprochés des conditions climatiques de la période d'été tout en étant occupés par les élèves.

IV.2. Etude bioclimatique de la ville de Tizi-Ouzou

L'étude bioclimatique permet d'aboutir, à partir des données climatiques (températures, humidités relatives, précipitations,...etc.), à des recommandations de confort spécifiques au site d'intervention sans recours à la climatisation. Cela présente un intérêt particulier pour l'évaluation des ambiances thermiques des bâtiments. En effet, l'étude bioclimatique conjuguée à la connaissance des caractéristiques architecturales et constructives des bâtiments à étudier permettent d'avoir un premier aperçu sur la qualité de l'ambiance thermique et de déceler les problèmes de conception.

Dans l'objectif d'analyser les bâtiments cas d'étude d'un point de vue bioclimatique, nous étudierons dans ce qui suit leur caractéristiques ainsi que les recommandations bioclimatiques conformes au climat de la région de Tizi-Ouzou. Le diagramme bioclimatique et les tableaux de Mahoney (voir annexe A) sont les outils utilisés pour atteindre cet objectif.

IV.2. 1. Application du digramme bioclimatique

Le digramme bioclimatique permet de déterminer la zone de confort thermique pour chaque type de climat ainsi que les grandes lignes de conception qui permettent de le garantir. La zone de confort est positionnée au centre ; l'aire extérieure est subdivisée en zones secondaires, où maintes procédures permettant de réintégrer les conditions de confort sont proposées. En positionnant les douze mois de l'année sur le diagramme, on arrive à définir les stratégies qu'il faut utiliser pour l'optimisation du confort thermique.

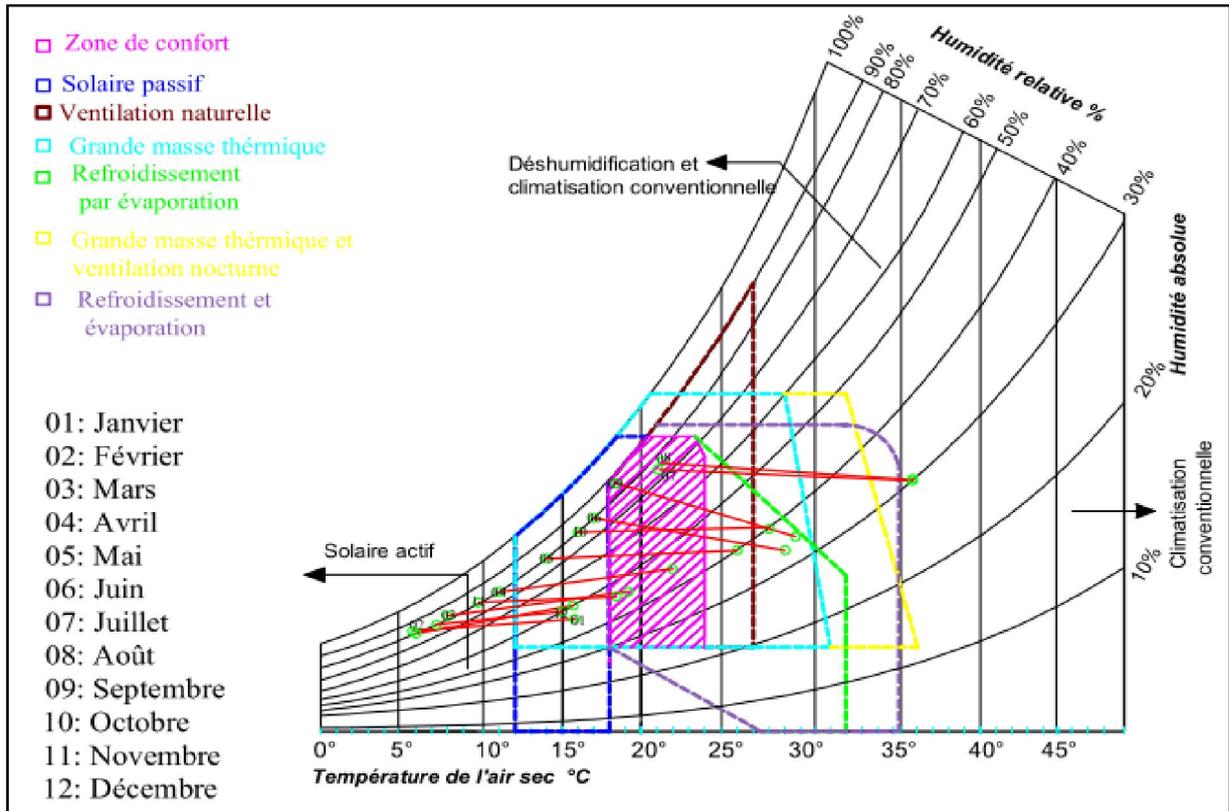


Figure. IV.7 : diagramme bioclimatique de la ville de Tizi-Ouzou (voir Annexe A).

Source : logiciel Ecotect Analysis 2011.

IV.2. 1.1. Interprétation du diagramme bioclimatique

Le diagramme fait ressortir trois zones.

- ✚ **La zone de confort** : elle s'étale sur une grande partie du mois de Mai, début Juin, fin Septembre et début Octobre.
- ✚ **Zone de sous chauffe** : elle inclut les mois de Décembre, Janvier et Février et une grande partie des mois Mars et Avril.
- ✚ **Zone de surchauffe** : cette partie se prolonge sur les mois de : Juillet, Août, une partie du mois de Juin, Septembre et Octobre.

IV.2. 1.2. Les recommandations bioclimatiques du diagramme

a) En zone de sous chauffe

- ✚ Promouvoir les gains du solaire passif ;
- ✚ L'utilisation de la masse thermique.

b) En zone de surchauffe

- ✚ La masse thermique ;
- ✚ Le refroidissement par évaporation ;
- ✚ La ventilation naturelle.

IV.2. 2. Application de la méthode de Mahoney

La méthode de Carl Mahoney repose sur un ordre d'analyse des éléments du climat. Elle est basée sur les températures mensuelles, la température moyenne annuelle, les humidités relatives et la pluviométrie de la région considérée. Cette méthode permet aux concepteurs d'arriver à des recommandations de confort spécifiques à une zone climatique sans recours à la climatisation. L'application de cette méthode sur la ville de Tizi-Ouzou (voir l'annexe A) a permis d'aboutir à un certain nombre de recommandations variant du général (implantation, orientation, ...etc.) jusqu'au détail (dimension et disposition des ouvertures).

IV.2. 2. 1. Synthèse des recommandations des tableaux de Mahoney

- ✚ Favoriser l'orientation Nord-Sud ;
- ✚ Opter pour une conception compacte des constructions ;
- ✚ Alignement des pièces de part et d'autre avec un mouvement d'air temporaire ;
- ✚ Prévoir des ouvertures d'une dimension de 20% à 40% de la surface du plancher ;
- ✚ Les ouvertures doivent être positionnées du côté du vent, en ajoutant des ouvertures au niveau des murs intérieurs ;
- ✚ Opter pour des murs extérieurs, intérieurs et des planchers massifs ;
- ✚ Opter pour des toitures lourdes avec un déphasage de 8heures ; dans le cas où elles sont légères, elles doivent être bien isolées ;
- ✚ Prévoir un drainage adéquat des eaux pluviales.

IV.2. 3. Synthèse

La région de Tizi-Ouzou est caractérisée par un climat méditerranéen tempéré avec une saison hivernale relativement humide et une saison estivale chaude. La conception des bâtiments doit prendre en considération le confort d'été au même titre que celui d'hiver.

L'analyse bioclimatique par le diagramme psychrométrique a fait ressortir la zone de confort et les recommandations permettant de l'atteindre. Quant à la méthode de Mahoney, elle a démontré comment atteindre l'ensemble de ces recommandations par la conception architecturale des bâtiments. La superposition des deux analyses fait ressortir les résultats suivants :

a) La zone de surchauffe : les mois de chaleur nécessitent un rafraîchissement passif. Ce dernier peut être atteint principalement par :

- ✚ **La masse thermique :** la propriété des constructions à masse thermique élevée est de se chauffer ou se refroidir lentement et donc de conserver une température stable. En été, la

masse thermique dans le bâtiment scolaire permet de retarder la restitution des apports dus à l'exposition de l'enveloppe aux rayonnements solaires pendant la journée ; ces apports seront restitués donc le soir, pendant que ces bâtiments ne sont pas occupés. Dans le climat tempéré qui caractérise la ville de Tizi-Ouzou, il est recommandé de choisir des matériaux à forte inertie thermique (8heures de déphasage) pour atteindre cet objectif.

✚ **L'orientation Nord-Sud des façades** : grâce à la hauteur du soleil pour l'orientation Sud, sa pénétration dans les locaux est moins profonde. Ces orientations permettent de minimiser le rayonnement solaire en été et de l'occulter par un simple auvent.

✚ **La ventilation naturelle** : une disposition stratégique des ouvertures et une bonne orientation aux vents permettent la circulation transversale et verticale de l'air et génèrent son changement pour évacuer la surchauffe. Pour ce faire dans le climat de Tizi-Ouzou, il est recommandé de prévoir un alignement des pièces de part et d'autre avec un mouvement d'air temporaire et que les ouvertures soient orientées du côté du vent en rajoutant des orifices au niveau des murs intérieurs.

✚ **Le refroidissement par évaporation** : le phénomène d'évaporation de l'eau est un passage de l'état liquide à l'état gazeux (vapeur). Ce changement nécessite une quantité d'énergie puisée de l'air ce qui entraîne une baisse de la température ambiante.

b) La zone de sous chauffe : pendant les mois d'hiver, le chauffage passif est recommandé ; cela sera principalement atteint par :

✚ **Le solaire passif** : pour promouvoir le solaire passif dans le climat de Tizi-Ouzou, les façades doivent être orientées au Sud du fait qu'elles reçoivent le maximum de rayonnement solaire en hiver. Il est aussi important de choisir un bon dimensionnement des surfaces vitrées qui doivent occuper 20 à 40 % de la surface du plancher. La chaleur ainsi captée est restituée à l'ambiance intérieure sous forme de gains gratuits sans utilisation d'équipements spécifiques.

✚ **La masse thermique** : l'utilisation des matériaux lourds dans les bâtiments scolaires en hiver contribue à réduire les flux thermiques entre l'intérieur et l'extérieur et de conserver la chaleur produite dans les locaux. Cela peut être atteint, d'après les recommandations bioclimatiques, par l'utilisation des matériaux à forte inertie thermique avec un déphasage de pas moins de 8 heures.

✚ **La compacité de la forme** : les déperditions thermiques par l'enveloppe sont proportionnelles à la surface d'échange entre l'intérieur et l'extérieur. Ainsi, il est recommandé une forme compacte pour diminuer ces surfaces.

IV.3. Enquête sur les bâtiments scolaires à Tizi-Ouzou

IV.3. 1. Les objectifs de l'enquête

Le parc immobilier scolaire de la daïra de Tizi-Ouzou, pour l'année 2014/2015, est estimé à 80 établissements. Ces derniers sont répartis entre 53 écoles primaires, 21 collèges d'enseignement moyen (CEM) et 07 lycées d'enseignements général et technologique. (Direction de l'Education de Tizi-Ouzou, 2014). En l'absence des données précises sur les typologies des bâtiments scolaires, une enquête est effectuée. Cette dernière est basée sur des observations et des consultations des permis de construire. Les principaux objectifs visent à connaître :

- ✚ Les typologies et les caractéristiques architecturales des bâtiments scolaires à Tizi-Ouzou;
- ✚ Le degré de reproduction des typologies proposées par le ministère de l'éducation nationale ;
- ✚ Les caractéristiques constructives des bâtiments ;
- ✚ Les principaux matériaux de construction.

IV.3. 2. La méthodologie de l'enquête

L'enquête est déroulée en janvier 2013 comme suit :

- ✚ Visite et observation de plus de 80 % d'établissements scolaires d'enseignements moyen et secondaire de la commune de Tizi-Ouzou. La carte des équipements publics et des entretiens avec des personnes travaillant à la Direction de l'Education de Tizi-Ouzou sont utilisés pour localiser les différents établissements. Ces visites sont accompagnées par des prises de photo et des entretiens avec des personnes travaillant dans ces établissements. Un cahier de bord est utilisé pour faciliter l'entretien et collecter le maximum d'informations (voir Annexe B).
- ✚ L'analyse de quelques permis de construire des bâtiments scolaires récupérés de la Direction du Logement et des Equipements Publics de Tizi-Ouzou.

IV.3. 3. L'analyse des résultats

IV.3. 3.1. Définition du corpus d'étude

L'étude initiale porte sur tous les bâtiments scolaires d'enseignements moyen et secondaire de la daïra de Tizi-Ouzou qui sont en nombre de 28. Néanmoins, par manque des documents graphiques pour effectuer l'étude nécessaire, l'enquête s'est limitée à 70 % de l'échantillon. Cela représente 19 bâtiments entre lycées et CEM.

IV.3. 3.2. Les critères d'étude des bâtiments scolaires

L'outil choisi pour effectuer une classification des typologies est le diagramme polaire. Chaque pôle représente un critère qui, à son tour, est décortiqué en plusieurs sous-critères présentés dans le tableau IV.1 :

- ✚ Pole A : configuration spatiale du plan ;
- ✚ Pole B : forme ;
- ✚ Pole C : époque de construction ;
- ✚ Pole D : nombre d'orientations des salles ;
- ✚ Pole E : nombre d'étages ;
- ✚ Pole F : matériaux de construction.

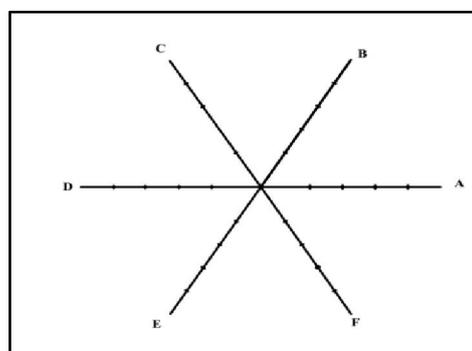


Figure. IV.8 : diagramme polaire.
Source : auteur.

Pole	Critère d'étude							
A: configuration spatiale	01	Linaire à corridor central	02	Bloc à distribution centralisé	03	Linaire à coursive	04	Autres types de distribution
B : forme	01	Rectangle (pavillon).	02	A patio (cour centrale)	03	En forme de (L, T,U,..etc	04	Autres formes
C : époque de construction	01	1970-1980	02	1980-1990	03	1990-2000	04	2000- à nos jours
D : orientation des salles de classes	01	Mono-orientation	02	Double orientation	03	Trois orientations	04	/
E : nombre d'étages	01	R+1	02	R+2	03	R+3	04	Autres gabarits
F : matériaux de construction		Brique		Parpaing		Béton préfabriqué		Autres matériaux.

Tableau IV.1 : critères d'étude des bâtiments scolaires.
Source : auteur.

IV.3. 3. 3. Le classement des bâtiments scolaires selon le critère de la configuration spatiale du plan

Le diagramme polaire ainsi que les critères de classification, ci-dessus, sont appliqués sur les 19 établissements. Cela a donné les diagrammes polaires illustrés dans l'annexe B. Le premier intérêt porte sur la classification des bâtiments selon le critère de la configuration spatiale du plan. Il est à constater qu'il y a deux typologies, il s'agit de celles proposées par le ministère de l'éducation nationale (voir chapitre II). Pour chaque typologie, plusieurs orientations sont possibles. Les bâtiments sont classés selon le degré de ressemblance de leur diagramme polaire à savoir :

a) Typologie de plan à coursive

Caractérisée par la juxtaposition linéaire des salles de cours desservies latéralement par une coursive. Les salles de cours sont à double orientation qui diffère d'un cas à l'autre. La forme géométrique des blocs pédagogiques peut être rectangulaire ou en formes de T, L, U. Les matériaux de construction sont similaires pour les deux typologies, ils sont décrits ci-dessous.

b) Typologie de plan à corridor central

Le plan est caractérisé par un couloir central linéaire distribuant de chaque part et d'autre des salles de cours. Ces dernières sont à uni-orientation, elles ne disposent de fenêtres que d'un seul côté, cette orientation varie d'un bâtiment à un l'autre. La forme des blocs pédagogiques est souvent rectangulaire.

IV.3. 3.4. Les caractéristiques constructives, matériaux de construction et composition de l'enveloppe

Les caractéristiques constructives et les matériaux de construction sont presque similaires pour tous les cas, ils se résument comme suit :

- ✚ L'utilisation du système constructif en portique (structure poteaux, poutres) en béton armé ;
- ✚ L'utilisation de la brique rouge comme matériau de construction pour les murs extérieurs et intérieurs à l'exception de deux cas dont il est utilisé le béton préfabriqué ;
- ✚ L'utilisation du simple vitrage pour les fenêtres ;
- ✚ L'absence des auvents ou protections solaires extérieures au niveau des baies vitrées ;
- ✚ L'absence des matériaux d'isolation.

IV.4. Choix, présentation et analyse bioclimatique des bâtiments cas d'étude

IV.4.1. Le choix des cas d'étude

Le choix des cas d'étude est fait à l'aide des digrammes polaires comme suit :

- ✚ De différentes typologies de plan afin d'évaluer l'impact des variations de la configuration spatiale des salles de cours sur les ambiances thermiques ;
- ✚ Chaque typologie de plan a des orientations différentes afin d'évaluer les effets de ces dernières sur le confort thermique ;
- ✚ Les matériaux utilisés sont similaires, il s'agit des matériaux conventionnellement utilisés dans la construction des bâtiments scolaires en Algérie qui sont principalement la brique rouge et le béton armé. Les bâtiments choisis sont :

IV.4.2. La typologie de plan à coursive

Deux bâtiments scolaires, de la typologie de plan à coursive sont choisis, dont toutes les caractéristiques sont similaires à l'exception de l'orientation des salles de cours. La double orientation Est/Ouest pour le 1^{er} cas et Nord/Sud pour le 2^{ème} cas sont pris comme cas d'étude.

IV.4.2.1. Lycée Rabah Stambouli (salles orientées Est/Ouest)

- a) **Présentation** : le lycée Rabah Stambouli est situé au Nord-Ouest du centre-ville de Tizi-Ouzou sur le boulevard Kerrad Rachid. Il est construit en 1975, il a une capacité d'accueil de 1000 élèves.



Figure. IV.9 : photo du lycée Stambouli Rabah.

Source : auteur, 2014.

- b) **Plan de masse** : le plan de masse du lycée est composé principalement de quatre blocs séparés par des espaces extérieurs. Les circulations entre le bloc pédagogique et les autres

entités (bibliothèque, administration...etc.) sont externes. Le lycée s'inscrit dans un site urbain à moyenne densité.

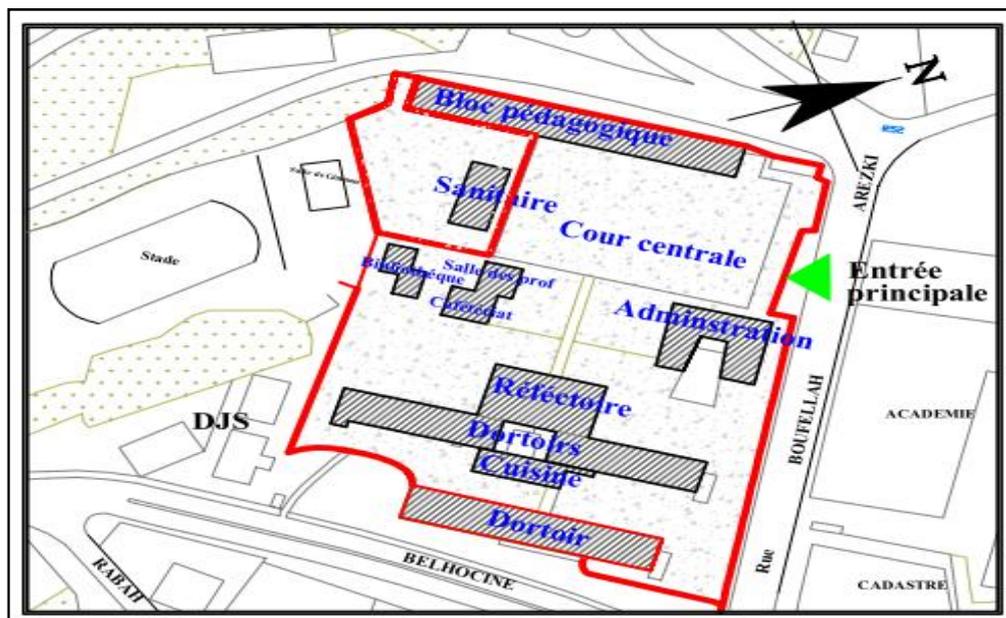


Figure. IV.10 : Plan de masse du lycée Stambouli Rabah.

Source : DLEP de Tizi-Ouzou, 2014.

IV.4.2.2. Lycée Colonel Amirouche (salles orientées Nord/Sud)

a) **Présentation** : le lycée Colonel Amirouche est de la même conception architecturale que celui de **Stambouli** Rabah. Ces deux lycées sont construits dans la même période et sous le même plan. La différence entre eux réside dans l'orientation des unités pédagogiques. Le lycée est situé au Nord-Ouest du centre-ville de Tizi-Ouzou. Il est construit en 1973, il a une capacité d'accueil de 1500 élèves.



Figure. IV.11 : Photo du lycée Colonel Amirouche.

Source : auteur, 2014.

b) **Plan de masse** : le plan de masse du lycée est composé principalement de deux entités. L'une est constituée de deux blocs pédagogiques opposés séparés par une cour. L'autre est composée du réfectoire et des blocs d'internat.

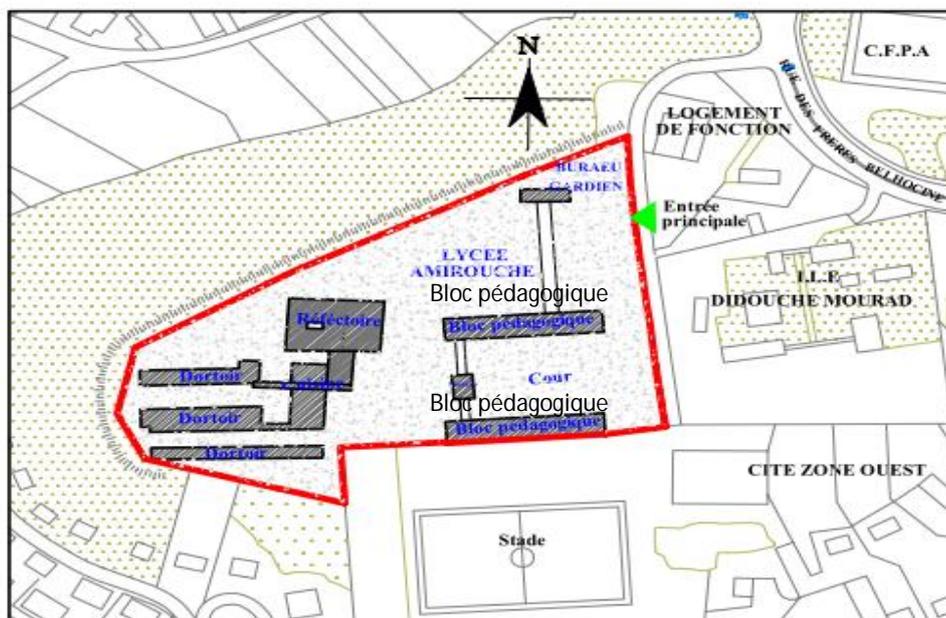


Figure. IV.12 : plan de masse du lycée Colonel Amirouche.

Source : DLEP de Tizi-Ouzou, 2014.

IV.4.2.3. Analyse des caractéristiques architecturales des bâtiments cas d'étude de la typologie de plan à coursive

IV.4.2.3. 1. Morphologie et configuration spatiale des bâtiments

La compacité de la forme est un aspect fondamental pour limiter les déperditions thermiques. Pour analyser l'effet de la géométrie des bâtiments sur leur performance thermique et déterminer leur degré d'exposition aux conditions climatiques extérieures, on utilise l'indicateur du coefficient de forme (Cf).

Les blocs pédagogiques des deux établissements ont la même conception architecturale, c'est la typologie de plan à coursive avec un gabarit de R+2 et une forme géométrique rectangulaire. Les dimensions sont tirées des plans (fig. IV.13), l'élévation des blocs est de 10.20 m.

$$\text{Surface de déperditions} = [(26.5 + 7.45) \times 2 \times 10.20 \times 3] + (26.5 \times 7.45 \times 2 \times 3) = 3262.29 \text{ m}^2$$

$$\text{Volume} = (26.5 \times 7.45 \times 10.20) \times 3 = 6041.20 \text{ m}^3$$

$$\text{Cf} = S / V = 3262.29 / 6041.20 = 0.54$$

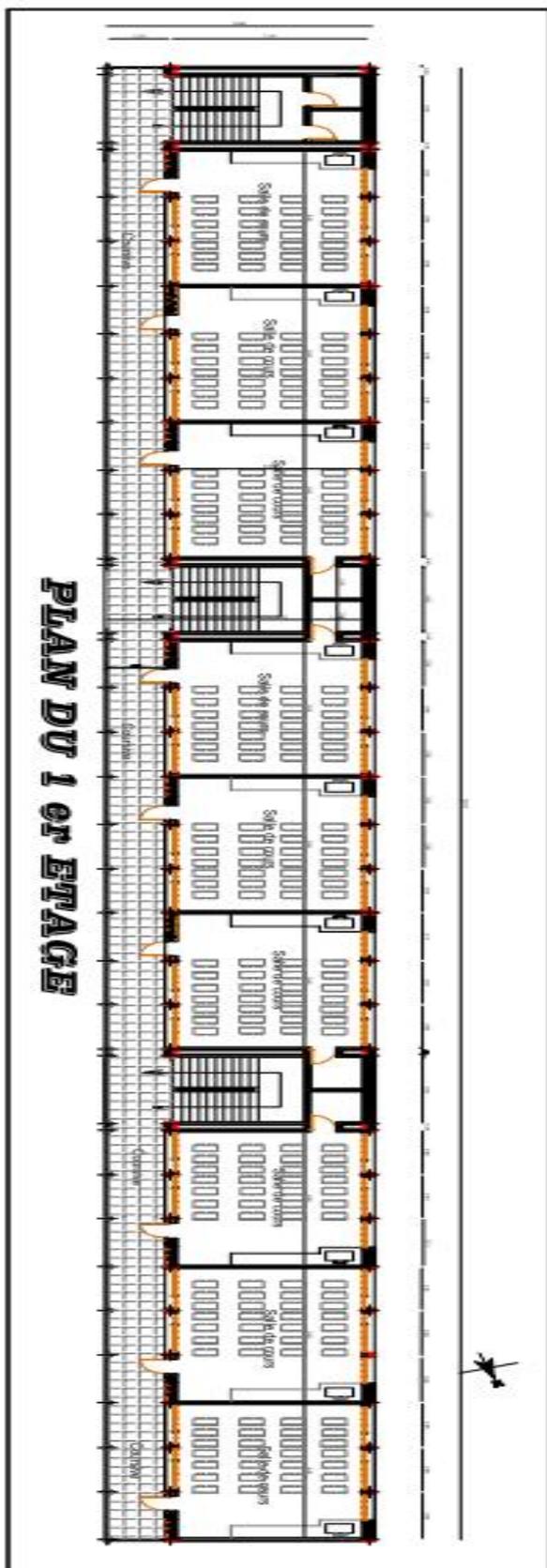


Figure IV.13 : plan de 1^{er} et 2^{ème} étages des Lycées Colonel Amirouche et Stombouli Rabah

Source : Lycée Stombouli Rabah, reproduit par l'auteur, 2015.

IV.4.2.3. 2. Caractéristiques des salles de cours

✚ Orientations et degré d'ouverture

Les ouvertures affectent significativement les échanges thermiques entre l'intérieur et l'extérieur. Une attention particulière quant à leurs dimensions est recommandée selon l'orientation. La conception du plan à coursive offre une double orientation. Les salles de cours de l'un des cas d'étude sont orientées Nord/Sud et l'autre l'Est /Ouest.

Chaque salle de cours contient une porte et sept fenêtres dont quatre donnent sur l'extérieur et trois donnent sur la coursive ; les dimensions de chaque fenêtre sont de (1.60m x 2.00m=3.20 m²). Les fenêtres sont composées d'un simple vitrage de 3 mm d'épaisseur. La porte occupe une surface de (2.20m x 0.98 m=3.52 m²).

Longueur	Largeur	Hauteur	Surface de la salle	Volume	Surface des ouvertures	Ratio surface/ouvertures
8.60 m	6.75 m	3.20 m	58.05 m ²	185.50 m ³	25.92 m ²	45%

La surface des ouvertures représente 45 % de la surface du plancher. En effet, l'étude bioclimatique faite pour la ville de Tizi-Ouzou recommande une orientation Nord/Sud des façades et de prévoir des ouvertures occupant de 20 à 40 % de la surface du plancher. À cet effet, la surface des ouvertures dépasse la limite et l'orientation Est/Ouest présente une défaillance par rapport aux stratégies recommandées.

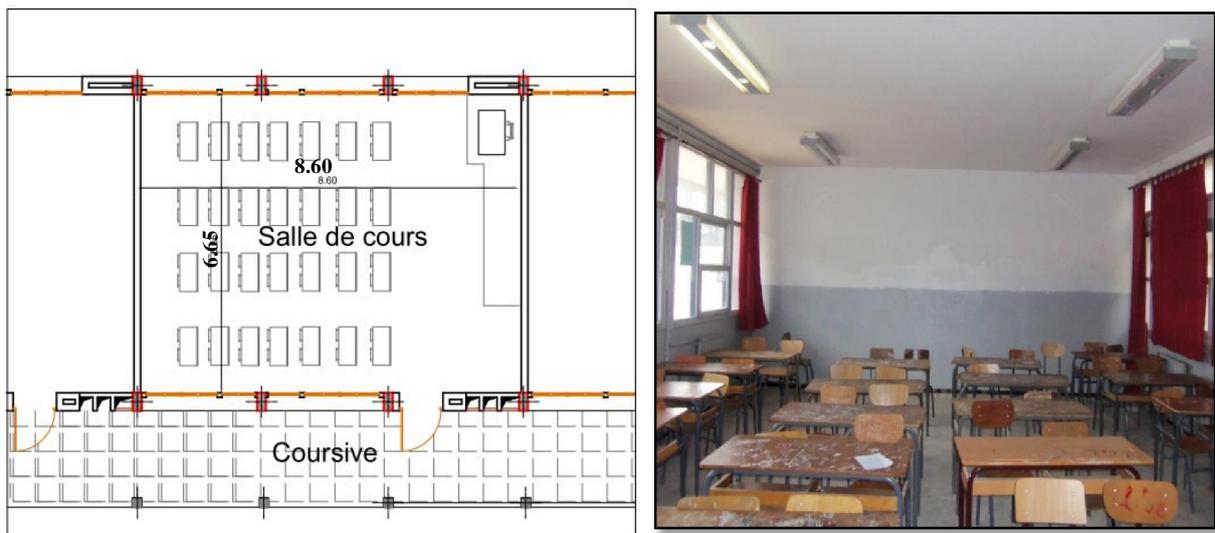


Figure. IV.14 : dimensions et aménagement de la salle de cours de la typologie de plan à coursive.

Source : auteur.

IV.4.3. La typologie de plan à corridor central

Deux bâtiments scolaires de la typologie de plan à corridor central sont choisis de sorte que leurs différentes caractéristiques soient semblables à l'exception de l'orientation. Les salles de cours sont orientées au Nord et Sud pour le 1^{er} cas et Est et Ouest pour le 2^{ème} cas.

IV.4.3.1. CEM Babouche Saïd (salles orientées au Nord et au Sud)

- a) **Présentation :** le CEM Babouche Saïd est situé à l'Est de la ville de Tizi-Ouzou. Il est construit en 1984. Il a une capacité d'accueil de 660 élèves.



Figure IV.15 : photo du CEM Babouche Saïd.

Source : auteur.

- b) **Plan de masse :** le bâtiment du CEM est formé de deux barres détachées, disposées en L. L'une est d'une vocation administrative, l'autre fait l'objet d'un bloc pédagogique en R+1 orienté Nord/Sud.

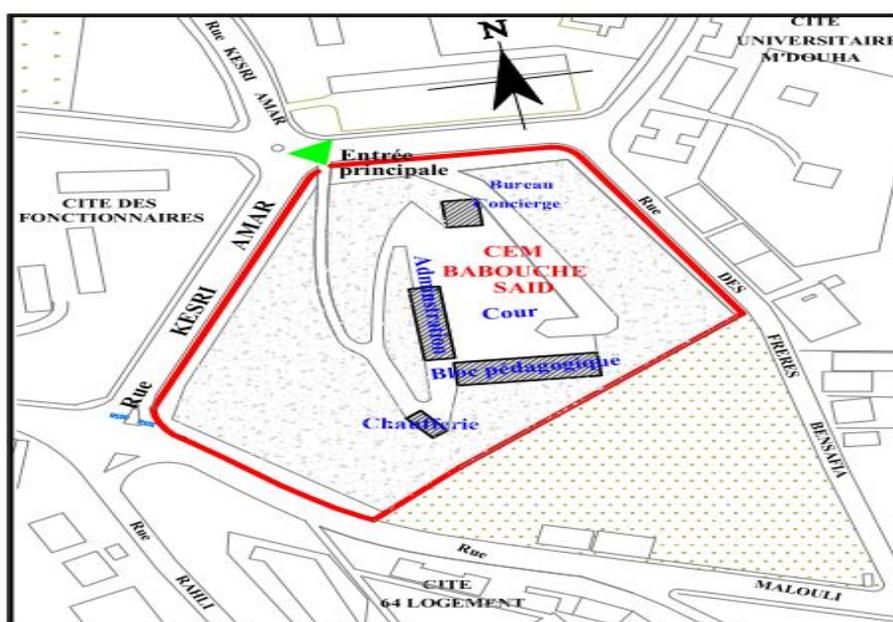


Figure IV.16: Plan de masse du CEM Babouche Saïd.

Source : DLEP de Tizi-Ouzou, 2014.

IV.4.3.2. CEM Base 07 (salles orientées à l'Est et à l'Ouest)

a) **Présentation** : le CEM Base 07 est situé au Sud-Ouest de la ville de Tizi-Ouzou. Il est construit en 2007. Il a une capacité d'accueil de 720 élèves.



Figure IV.17 : photo du CEM Base 07

Source : auteur.

b) **Plan de masse** : le plan de masse du CEM est composé d'un seul bloc de forme parallélépipédique implanté à l'extrémité d'une cour. Les fonctions administratives s'inscrivent au RDC, quant aux fonctions pédagogiques, elles se déroulent au 1^{er} et 2^{ème} étages.

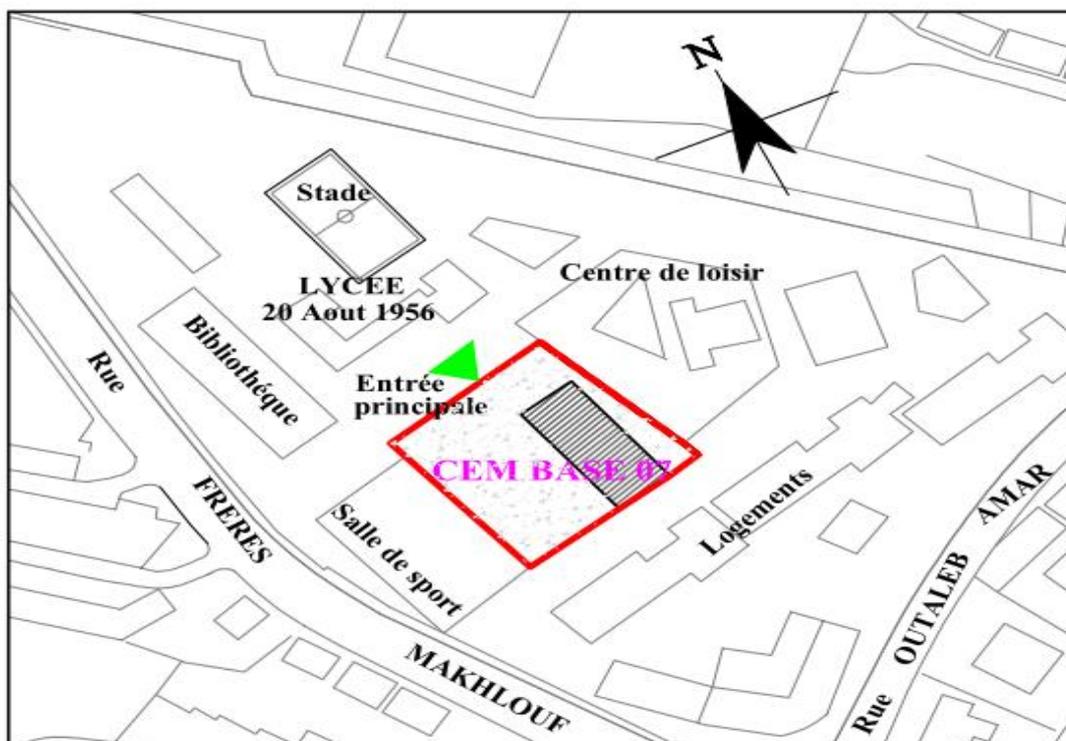


Figure IV.18 : Plan de masse du CEM Base 07.

Source : DLEP de Tizi-Ouzou, 2014.

IV.4.3.3. Analyse des caractéristiques architecturales des bâtiments cas d'étude de la typologie de plan à corridor central

IV.4.3.3.1. Morphologie et configuration spatiale : le plan des établissements est de typologie à corridor central, ils sont caractérisés par une forme parallélépipédique avec un gabarit de R+1 pour le CEM Babouche Saïd et R+2 pour le CEM Base 07.

✚ Le coefficient de forme (Cf)

a) CEM Babouche Saïd

$$S = [(56.70 + 8.90 + 4.50 + 6 + 47 + 6 + 4.5 + 8.90) \times 6.80] + [(47.68 \times 14.90) + (8.9 \times 4.50) \times 2] \times 2 = 1839 \text{ m}^2.$$

$$V = (47.68 \times 14.90 \times 6.80) + (8.9 \times 4.50 \times 6.80) \times 2 = 5375.61 \text{ m}^3.$$

$$Cf = 1839 / 5375.61 = 0.34.$$

b) CEM Base 07

$$S = (51.30 + 18) \times 2 \times 10.35 = 1434.51 \text{ m}^2.$$

$$V = 51.30 \times 18 \times 10.35 = 9557.19 \text{ m}^3.$$

$$Cf = 1434.51 / 9557.19 = 0.15$$

IV.4.3.3. 2. Caractéristiques des salles de cours

a) CEM Babouche Saïd (orientations Nord et Sud)

✚ Orientations et degré d'ouverture : les salles de cours sont orientées au Nord et au Sud de part et d'autre du corridor central. Elles contiennent 8 fenêtres de dimensions : 1.00m x 1.80m = 1.80 m².

Longueur	Largeur	Hauteur	Surface	Volume	Surface des ouvertures	Ratio surface/ouvertures
9.40 m	6.00 m	3.20 m	56.04 m ²	180.50 m ³	14.8 m ²	25%

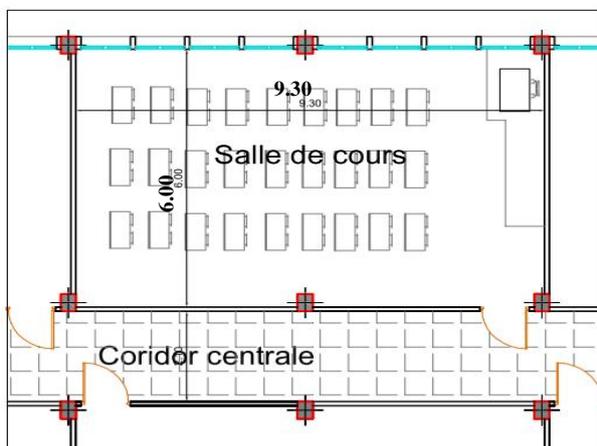


Figure IV.19: dimensions et aménagement d'une salle de classe du CEM Babouche Saïd.

Source : auteur.

Les fenêtres sont composées d'un simple vitrage de 3 mm d'épaisseur et des cadres en bois. La surface des ouvertures représente 25 % de la surface du plancher.

b) CEM Base 07 (orientation Est et Ouest)

✚ Orientations et degrés d'ouvertures

Les façades sont orientées à l'Est et à l'Ouest. Elles contiennent quatre fenêtres de dimensions 1.65m x 1.80 m, soit une surface de 2.97m². La surface totale des quatre fenêtres est de 11.88 m², elle représente 18 % de la surface du plancher.

Longueur	Largeur	Hauteur	Surface	Volume	Surface des ouvertures	Ratio surface/ouvertures
8.30 m	7.60 m	3.25 m	63.00 m ²	205 m ³	11.80 m ²	18.85%

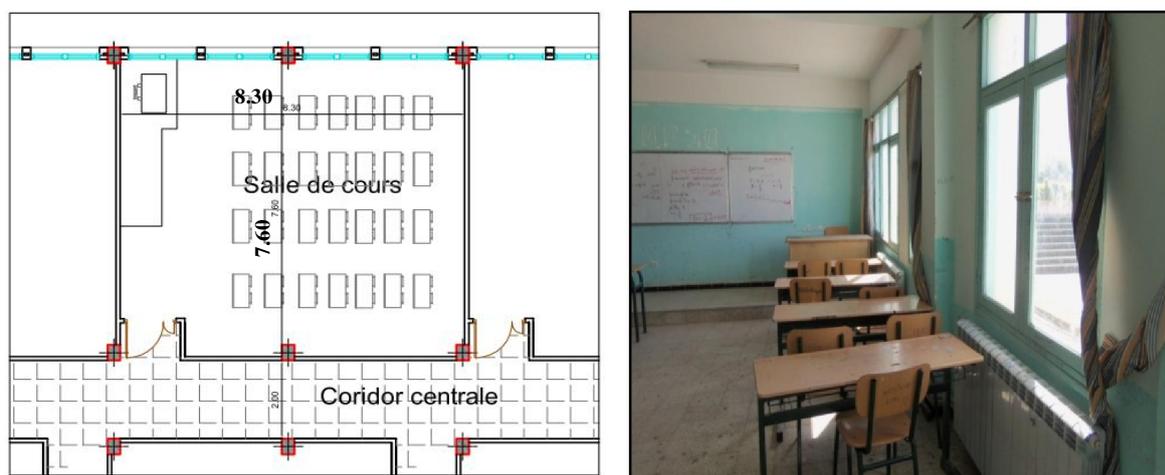


Figure IV.20 : Dimensions et aménagement d'une salle de classe du CEM Base 07.

Source : auteur.

La configuration spatiale des typologies de plan à corridor central n'offre qu'une seule possibilité d'orientation. Chaque salle de cours contient une seule façade donnant sur l'extérieur et qui peut d'être ouverte. Cela doit réduire considérablement les surfaces vitrées comparativement à la typologie de plan à coursive. Cependant, le pourcentage des ouvertures de la façade n'atteint pas le seuil recommandé par l'étude bioclimatique pour l'un des cas. Cela aura pour effet de réduire la quantité du rayonnement solaire nécessaire pour le chauffage passif en hiver.

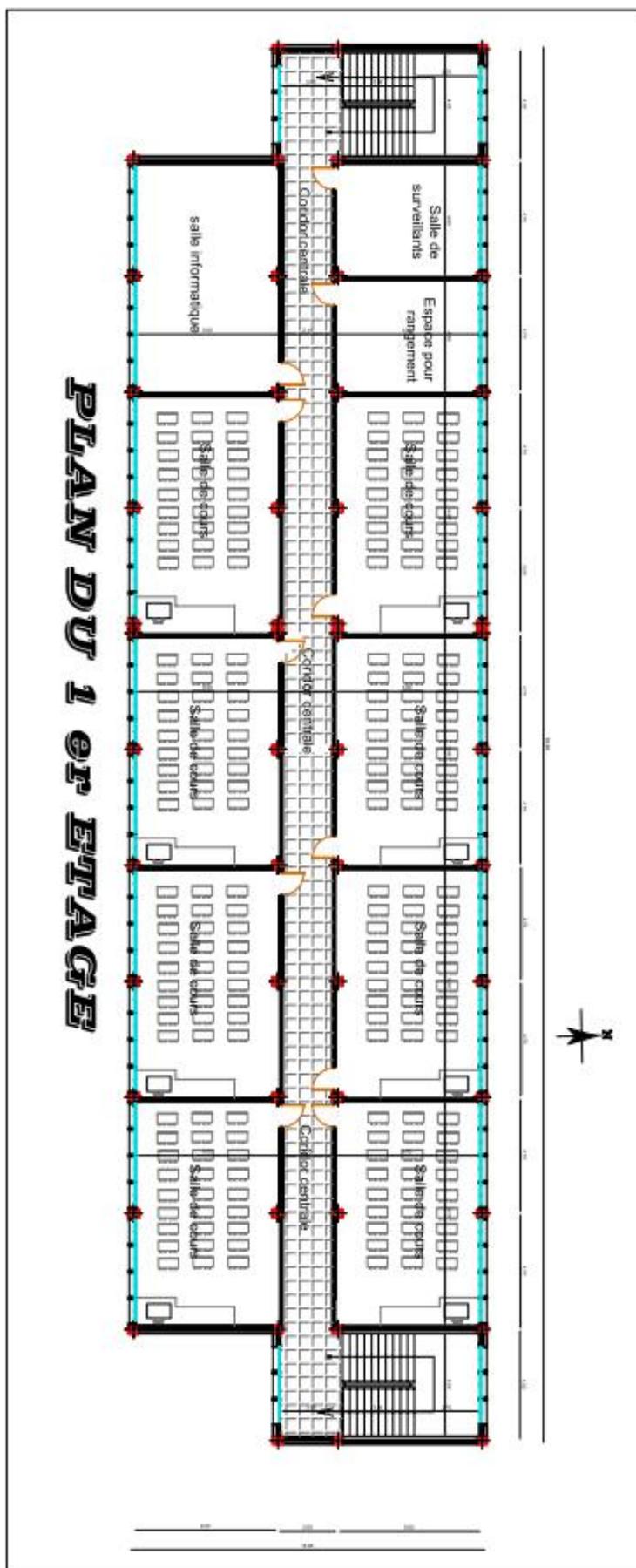


Figure IV.21 : plan de 1^{er} étage du CEM Babouche Saïd.

Source : auteur, 2015

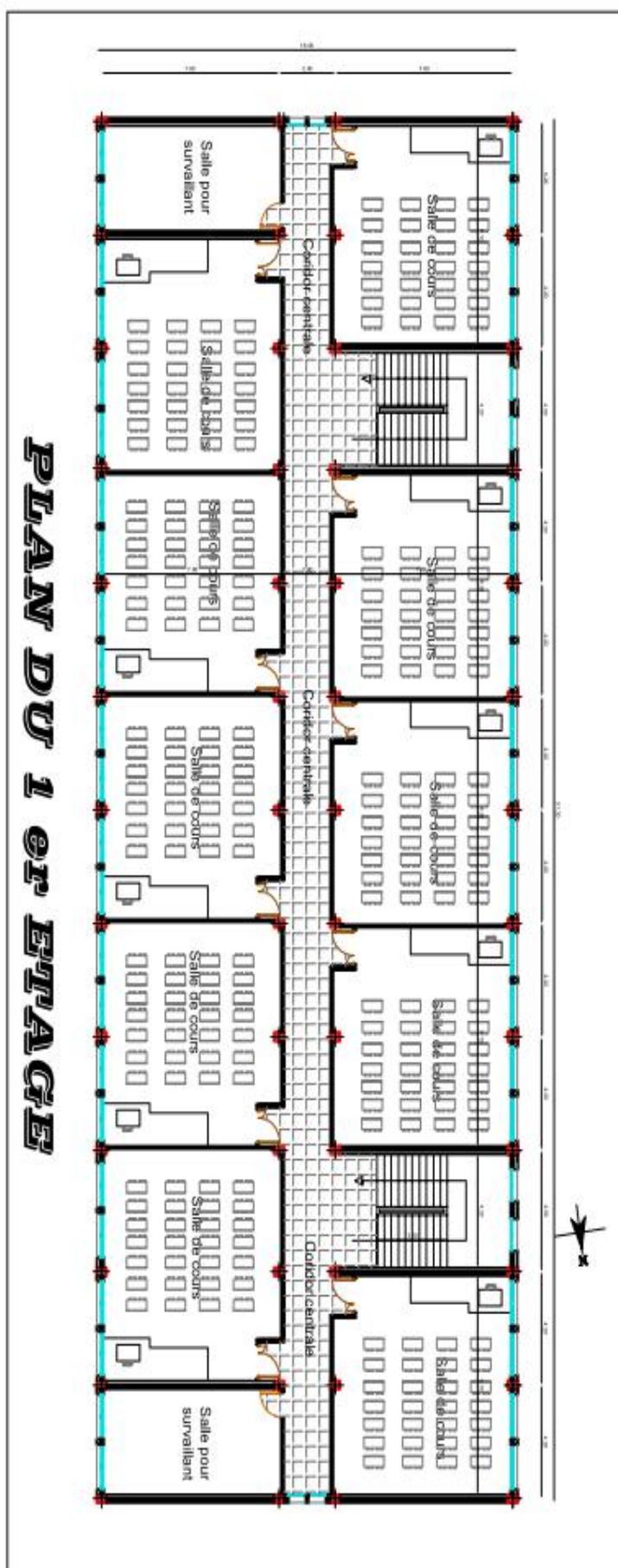


Figure IV.22: plan de 1^{er} étage du CEM Base 07.

Source : auteur, 2015

IV.4.4. La composition de l'enveloppe et les matériaux de construction

L'enveloppe du bâtiment remplit la fonction d'intermédiaire entre l'extérieur et l'ambiance intérieure. Les matériaux qui la composent ont une très grande influence sur la température ambiante. Quantitativement, leur effet dépend de leur épaisseur et leurs propriétés thermophysiques. La consultation des plans et les observations in situ ont permis de constater que la composition de l'enveloppe est comme suit :

- ✚ La structure porteuse est du type poteaux- poutres en béton armé coulé sur place ;
- ✚ L'enveloppe extérieure est constituée de doubles murs en briques creuses avec une lame d'air de 10 cm, (fig. IV.23) ;
- ✚ Le revêtement extérieur est un enduit en ciment, celui de l'intérieur est en plâtre ;
- ✚ Les murs intérieurs sont construits en simple cloison de briques de 10 cm d'épaisseur avec un enduit en plâtre ;
- ✚ Les planchers sont réalisés en poutrelles et hourdis avec dalle de compression coulée sur place, le revêtement des sols est en carrelage sur sable.

Les parois extérieures sont donc composées d'une double cloison en briques creuses séparées par une lame d'air de 10 cm. Dans le cadre de leur travail de recherche de magister, Kesraoui N., (2010) et Mazari M., (2012) ont effectué une étude expérimentale pour évaluer la performance thermique du même type d'enveloppe et dans le même climat (Tizi-Ouzou). Des relevés des températures de surfaces interne et externe ont été effectués simultanément. Ces auteurs ont démontré que cette enveloppe n'est pas dotée d'une bonne inertie thermique et l'épaisseur des murs extérieurs qui est de 30 cm est insuffisante pour protéger les bâtiments des conditions climatiques externes. En effet, les résultats expérimentaux ont montré que le déphasage est de deux heures, or que l'étude bioclimatique recommande l'utilisation des matériaux à forte inertie thermique avec un temps de déphasage de 8 heures.

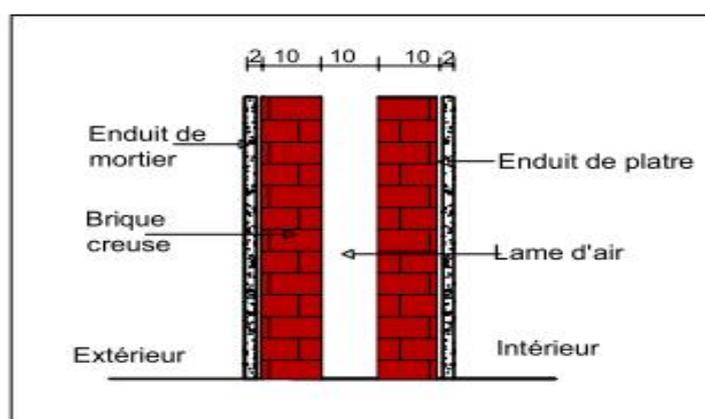


Figure IV.23 : composition du mur extérieur.
Source : auteur.

IV.4.5. Synthèse et comparaison

Critères	Typologie de plan à coursive	Typologie de plan à corridor central	Recommandations
Le bâtiment scolaire			
Forme	parallépipède	<ul style="list-style-type: none"> • Parallépipède • Parallépipède 	Compacte
Gabarit	R+2	<ul style="list-style-type: none"> • R+1 • R+2 	/
Coefficient de forme	0.54	<ul style="list-style-type: none"> • 0.34 • 0.15 	Le plus faible possible
Les salles de cours			
Orientations	<ul style="list-style-type: none"> • Nord/Sud • Est/Ouest 	<ul style="list-style-type: none"> • Nord • Sud • Est • Ouest 	<ul style="list-style-type: none"> • Sud • Nord
Surface	58.05 m ²	<ul style="list-style-type: none"> • 56.04 m² • 63.08 m² 	60 m ² à 62 m ² ¹
Volume	185.76 m ³	<ul style="list-style-type: none"> • 180.50 m³ • 205.00 m³ 	/
Ratio surface/élève	1.81 m ² à 2.23 m ²	<ul style="list-style-type: none"> • 1.86 à 2.24m² • 1.97 à 2.25m² 	1,40 à 1,50 m ² ²
Ratio ouvertures/ surface du plancher	45%	<ul style="list-style-type: none"> • 25% • 18.85% 	20% à 40%
Matériaux de construction des parois opaques.	Brique creuse, à faible inertie thermique, 2h de déphasage.	Brique creuse, à faible inertie thermique, 2h de déphasage.	À forte inertie thermique (8heures de déphasage)
Matériaux de construction des parois vitrées	Simple vitrage	Simple vitrage	/

Tableau IV.2: synthèse et comparaison des caractéristiques des deux typologies et les recommandations bioclimatiques.

Source : auteur.

¹ (Ministère de l'éducation nationale, 1982.) ; voir le chapitre II

² Ibid.

Synthèse

L'analyse des caractéristiques des bâtiments cas d'étude, comparées aux recommandations bioclimatiques annoncent le mauvais comportement thermique de ces bâtiments et que les facteurs de l'environnement climatiques ne sont pas pris en considération pour assurer le confort thermique dans les deux typologies de plan. Nous signalons que la typologie à corridor central peut offrir des conditions thermiques plus modérées que la typologie de plan à coursive du fait qu'elle se caractérise par une conception plus compacte et moins ouverte que la typologies de plan à coursive. Les défaillances recensées de la conception de ces plans d'après l'étude bioclimatique se résument comme suit :

1. L'inadéquation de l'orientation de toutes les salles de classe à l'exception de celles orientées au Sud ou Nord/Sud, d'autant plus que les bâtiments ne disposent pas de systèmes extérieurs d'occultation. En effet, l'étude bioclimatique préconise l'orientation Sud pour ce type de climat du fait que l'ensoleillement d'hiver est maximal, tandis que l'ensoleillement d'été est minimal avec la possibilité de se protéger avec un simple auvent.
2. Le calcul du coefficient de forme indique qu'il est important pour les deux typologies étudiées. Toutefois, la typologie de plan à corridor central se caractérise par des coefficients plus faibles. Grâce à sa conception plus compacte, cette typologie présentera des conditions thermiques améliorées du fait que les échanges entre l'intérieur et l'extérieur sont moins importants quand ce coefficient prend des valeurs faibles.
3. L'importance des surfaces vitrées est également l'une des défaillances majeures à soulever dans la typologie de plan à coursive. Elle présente deux façades ouvertes sur l'extérieur. Le calcul du rapport de la surface d'ouvertures par rapport à la surface du plancher des salles fait ressortir qu'il dépasse la valeur maximale requise par les recommandations bioclimatiques dans la typologie de plan à coursive. Cela a pour effet d'accentuer les gains de chaleurs indésirables en été, notamment pour les façades mal orientées, et de perdre des quantités importantes en hiver. En revanche, la typologie de plan à corridor central se caractérise par un degré d'ouverture beaucoup moins important, elle ne dispose que d'une seule façade ouverte.
4. La composition de l'enveloppe joue un rôle important sur sa performance thermique. Dans la zone climatique étudiée, on suggère une enveloppe à forte inertie thermique. Dans les bâtiments cas d'étude, l'inertie est faible ajouté à cela que les parois ne disposent pas d'isolants.

5. L'absence des protections solaires extérieures, conjuguée au simple vitrage des fenêtres n'assurent presque aucune protection vis-à-vis des aléas du climat. En effet, il est possible de modifier les effets thermiques des fenêtres mal orientées en appliquant des systèmes d'occultation intérieurs ou extérieurs ce qui n'est pas le cas pour les bâtiments étudiés. Les protections solaires dans les salles de cours se résument en simples rideaux intérieurs en tissu qui ne jouent pas efficacement leur rôle d'occultation.

IV.4.6. Equipements et dispositifs de confort dans les bâtiments cas d'étude

✚ L'éclairage

L'éclairage artificiel est destiné pour une utilisation supplémentaire diurne en cas d'insuffisance d'éclairage naturel. Les installations d'éclairage dans les cas d'étude comprennent des lampes ou des luminaires, dont le nombre varie de 4 à 8 selon la surface de la salle et des systèmes de commande d'allumage et d'extinction. Il est à signaler que ce type d'éclairage (lampes et tubes luminescents classiques) est énergivore et que les nouvelles technologies d'éclairage à basse consommation sont absentes.

✚ Les équipements de confort en été

Toutes les fenêtres des bâtiments cas d'étude sont dotées de rideaux dont la fermeture sert à occulter le rayonnement solaire et contrôler l'éblouissement. Cependant, ce dispositif est insuffisant pour assurer une température confortable en périodes chaudes de début et de fin d'année scolaire. Par ailleurs, aucun établissement du périmètre étudié ne dispose de climatiseurs.

✚ Les équipements de confort en hiver

La particularité des établissements scolaires c'est surtout les charges internes élevées provenant de l'éclairage artificiel et de la densité d'occupation. En revanche, ces apports restent insuffisants pour atteindre une température confortable en hiver d'après l'enquête et les mesures effectuées. Ainsi, le confort est assuré par un système de chauffage central qui est très courant dans les bâtiments publics et locaux d'enseignement en Algérie. Chaque salle de cours est dotée de 2 à 6 radiateurs chauffés par la circulation d'eau chaude dont le fonctionnement est décrit dans le 1^{er} chapitre.



Figure IV.24: chauffage utilisé dans les salles de cours.
Source : auteur.

IV.5. Présentation et description du protocole d'investigation

L'évaluation de l'ambiance thermique des bâtiments est un sujet de préoccupation et de recherche depuis quelques décennies. L'évaluation post occupationnelle, sur laquelle s'appuie le volet pratique du présent travail, consiste à déceler les qualités perçues d'un environnement donné. Elle repose sur des approches parfois centrées sur l'individu et ses jugements et parfois centrées sur l'effet des propriétés mesurables et parfois sur les deux. Afin de couvrir une grande variété des conditions d'ambiance, nous avons choisi de procéder à l'évaluation du confort thermique par des questionnaires et des campagnes de mesures.

IV.5. 1. Les campagnes de mesures

IV.5. 1. 1. Le matériel utilisé

Deux appareils sont utilisés dans les campagnes de mesures :

- ✚ **Un thermomètre de type : K-Thermocouple HI 935006:** cet instrument est utilisé pour mesurer la température de l'air ambiant. Il est composé d'un récepteur de données connecté à une sonde thermique. Il n'est pas doté d'une mémoire d'enregistrement automatique, les mesures sont effectuées manuellement chaque heure.
- ✚ **Un thermo-hygromètre à sonde :** cet outil permet de mesurer la température de l'air et son humidité relative, il est utilisé pour mesurer l'humidité uniquement. Il est composé d'un récepteur de données et une sonde de température et d'humidité (voir tableau IV.3).

Type d'appareil	Vue sur l'appareil	Fonctions
<p>Thermomètre : K- Thermocouple HI 935006.</p>		<p>Permet de mesurer :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▣ La température de l'air. <p>Propriétaire : département d'architecture de l'université de Tizi-Ouzou.</p>
<p>Thermo-hygromètre à sonde</p>		<p>Permet de mesurer :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▣ La température de l'air. ▣ L'humidité relative de l'air <p>Propriétaire : département d'architecture de l'université de Tizi-Ouzou.</p>

Tableau IV.3 : matériel utilisé dans les campagnes de mesures
Source : auteur

IV.5. 1. 1.1. Etalonnage par comparaison du matériel de mesures

Afin de connaître le degré de précision des résultats offerts par le matériel de mesures utilisé, nous avons procédé à son étalonnage. L'opération s'est effectuée à l'Office National de Météorologie de Tizi-Ouzou le 15 Juin 2014. Les instruments de mesures sont placés dans les mêmes conditions que ceux de l'ONM. Pour avoir des résultats plus affinés, un intervalle d'une demi-heure entre deux prises de mesures successives est choisi pendant 24 heures.

IV.5. 1. 1.2. Description des instruments de mesures de l'étalon

Tous les instruments de mesures, étalons et à étalonner, sont placés dans un abri en bois utilisé couramment par ONM de Tizi-Ouzou pour protéger les instruments et prendre les différentes mesures sous l'ombre (fig. IV.25). Le système utilisé par l'ONM de Tizi-Ouzou pour mesurer les températures et les humidités est le psychromètre. Il est constitué d'un thermomètre ordinaire (sec) et un thermomètre dont le bulbe est entouré d'un coton imbibé dans l'eau (fig. IV.26).

Le thermomètre sec indique la température de l'air. Le thermomètre mouillé indique la température du coton qui est à l'origine à la même température de l'air ambiant. Toutefois, l'eau s'évapore du coton imbibé, ce qui provoque son refroidissement. À cause de l'évaporation, l'eau qui reste dans le coton se refroidit et le thermomètre indique une température plus basse que le thermomètre sec. Plus l'air est sec, plus il y a de l'eau qui s'évapore du coton et plus la température du thermomètre mouillé est basse. Une fois que les températures sèches et humides sont relevées, l'humidité relative de l'air se déduit originellement d'un diagramme psychrométrique. Dans l'ONM de Tizi-Ouzou, il est remplacé par une application informatique qui permet de déterminer la valeur de l'humidité relative et d'autres caractéristiques de l'air à partir des deux températures relevées.



Figure IV.25 : Vue sur l'abri contenant les instruments de mesures.

Source : auteur.

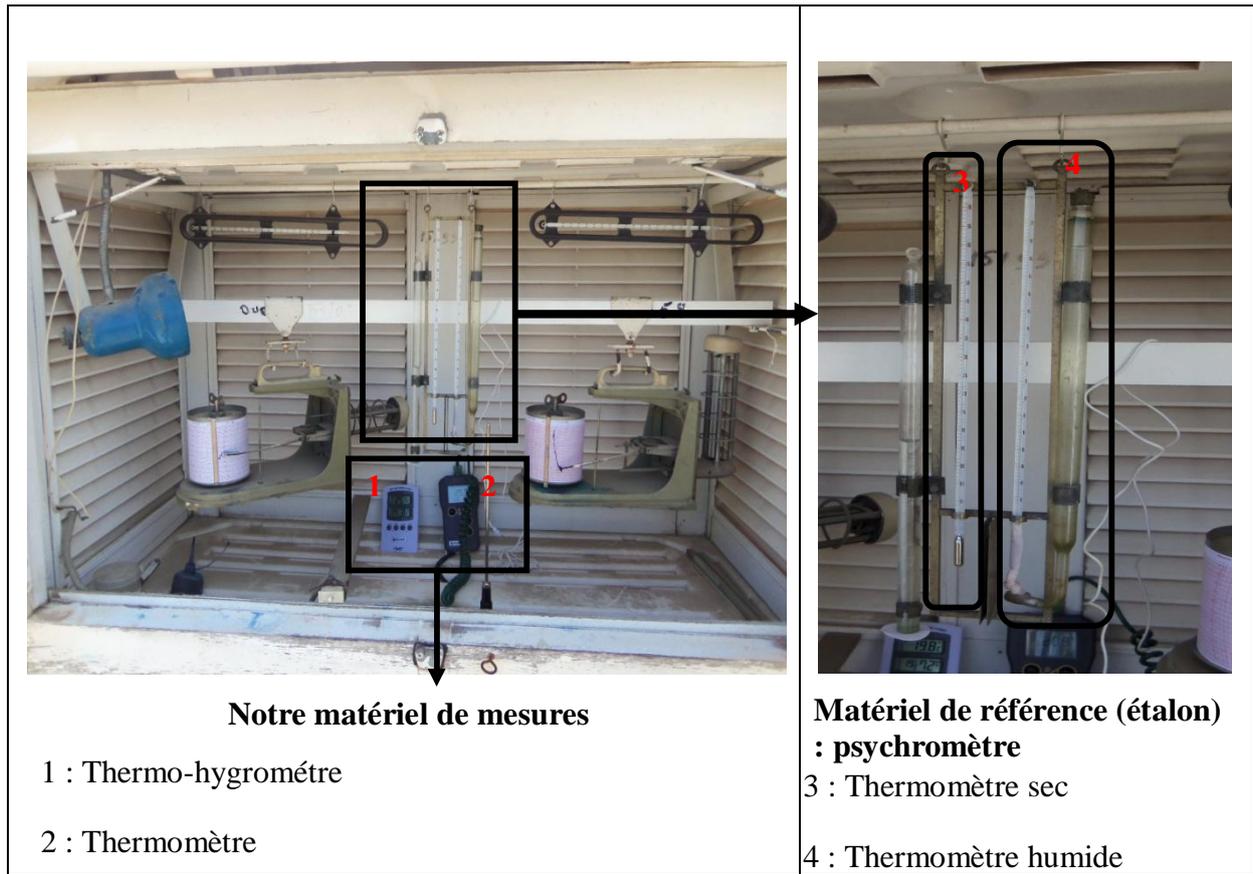


Figure IV.26 : Vue sur les appareils pendant l'étalonnage.

Source : auteur.

IV.5. 1. 1.3. Résultats de l'étalonnage

a) **L'humidité relative** : l'écart moyen entre les humidités relatives enregistrées par le matériel utilisé dans les campagnes de mesures et celui de l'ONM de Tizi-Ouzou est de (-) 7%, il varie entre -5% et -11%. Etant un écart important, nous avons essayé de réparer le thermo-hygromètre en lui changeant la pile et en effectuant certains réglages, mais cela a donné le même résultat. À cet effet, l'écart moyen est additionné à toutes les valeurs relevées d'humidités relatives.

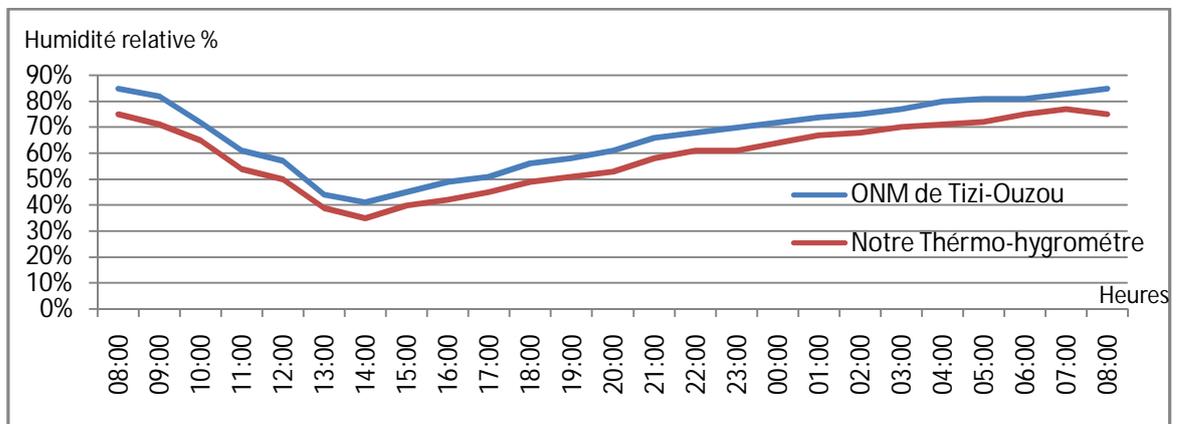


Figure IV.27: Valeurs d'humidités relatives relevées par le matériel utilisé et celui de l'ONM de Tizi-Ouzou. Source : auteur.

b) **La température** : l'écart moyen entre les températures enregistrées par le matériel utilisé et celui de l'ONM de Tizi-Ouzou est de (-) 0.35°C. Pour que les mesures soient rapprochées le plus possible aux valeurs réelles, l'écart moyen est additionné à toutes les valeurs de températures relevées.

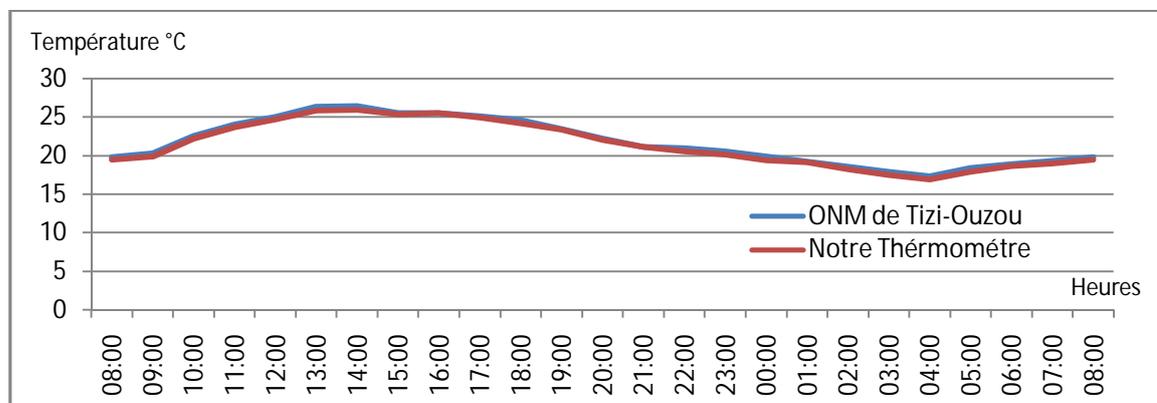


Figure IV.28 : valeurs des températures du matériel utilisé et celui de l'ONM de Tizi-Ouzou.

Source : auteur.

IV.5. 1. 2. Déroulement des campagnes de mesures

IV.5. 1. 2.1. Les paramètres mesurés

1. Températures ambiantes à l'intérieur des salles de cours ;
2. Températures extérieures ;
3. Humidités relatives à l'intérieur des salles de cours ;
4. Humidités relatives extérieures.

IV.5. 1. 2.2. Campagnes de mesures d'été

La campagne de mesures d'été s'est déroulée au mois de Septembre, qui correspond au mois le plus chaud de l'année scolaire. En effet, les élèves prennent généralement leurs vacances en fin Mai et reprennent au début Septembre. Cette campagne s'est effectuée en présence des élèves, dans leurs conditions de travail habituelles et sans aucun équipement de rafraîchissement afin d'évaluer la capacité de ces bâtiments à offrir un minimum de confort pendant la période chaude.

📅 Dates et durées des campagnes de mesures d'été

Les mesures sont prises en continu pendant une seule journée au cours des heures de scolarisation des élèves, de 8h 00 à 17h 00. L'intervalle entre deux mesures consécutives est d'une heure. Le même protocole est maintenu pour les quatre cas d'étude, les dates et les durées des campagnes de mesures sont exposées dans le tableau suivant :

Typologies	Les cas d'étude	Dates de prises de mesures	Orientations
Typologie de plan à coursive	Lycée Stambouli Rabah	14 Septembre 2014, de 8h00 à 17h 00	Est/Ouest
	lycée Colonel Amirouche	24 Septembre 2014, de 8h00 à 17h00	Nord/Sud
Typologie de plan à corridor central	C.EM Babouche Saïd	17 Septembre 2014, de 8h00 à 17h00	Nord Sud
	C.E.M Base 07	21 Septembre 2014, de 8h00 à 17h00	Est Ouest

Tableau IV.4 : Dates et durées des campagnes de mesures d'été.

Source : auteur.

Choix des salles et emplacements des prises de mesures

Pour que l'environnement des prises de mesures soit similaire pour les quatre cas d'étude, les salles choisies sont situées au 1^{er} étage au milieu du plan pour éviter l'effet d'ombre procurée par le voisinage de certains établissements, qui n'est pas le cas des autres.

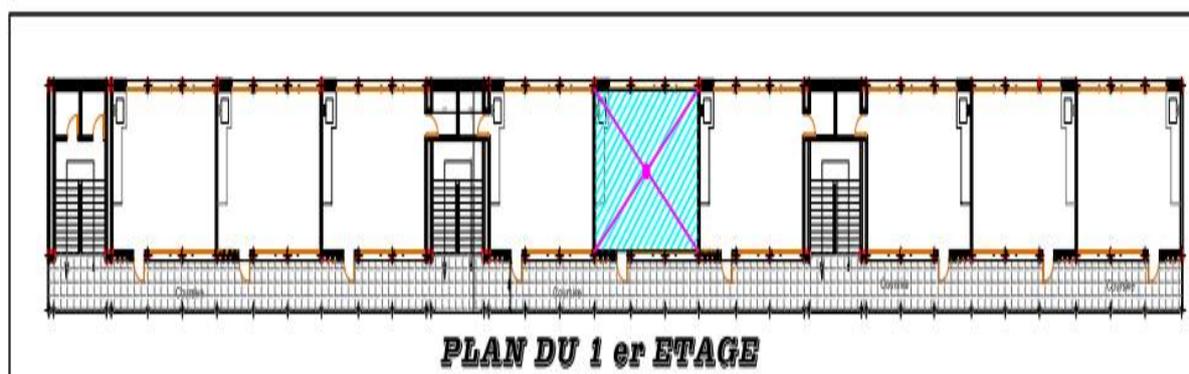


Figure IV.29: emplacement de la salle et du point de prise de mesures pour la typologie de plan à coursive .Source : auteur.

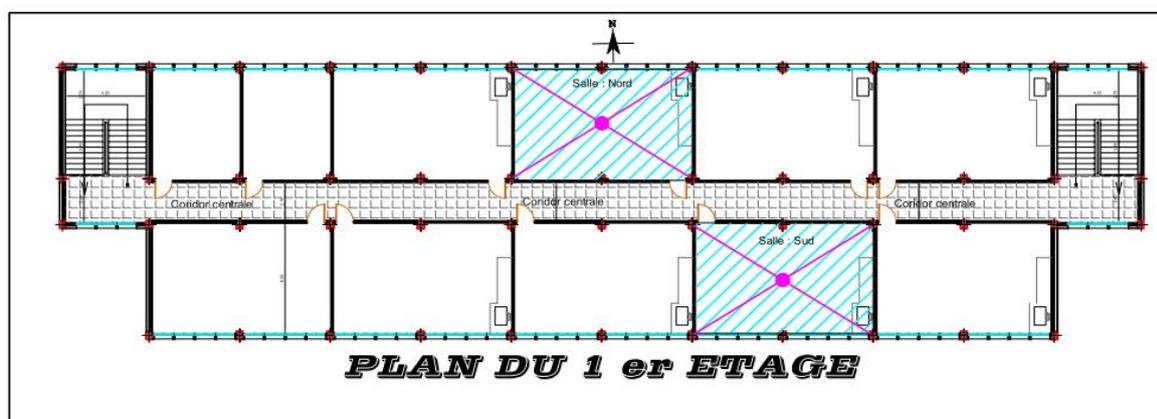


Figure IV.30 : emplacement des salles et des points de prise de mesures pour la typologie de plan à corridor central. Source : auteur.

Pour toutes les salles de cours, les mesures sont relevées au milieu, à une hauteur de 1.20 m. Les appareils, mesurant les conditions climatiques extérieures, sont placés sous l'ombre au milieu de la cour évitant tout obstacle en gardant une hauteur de 1.20 pour les sondes. Le même protocole est maintenu dans les quatre cas d'étude.

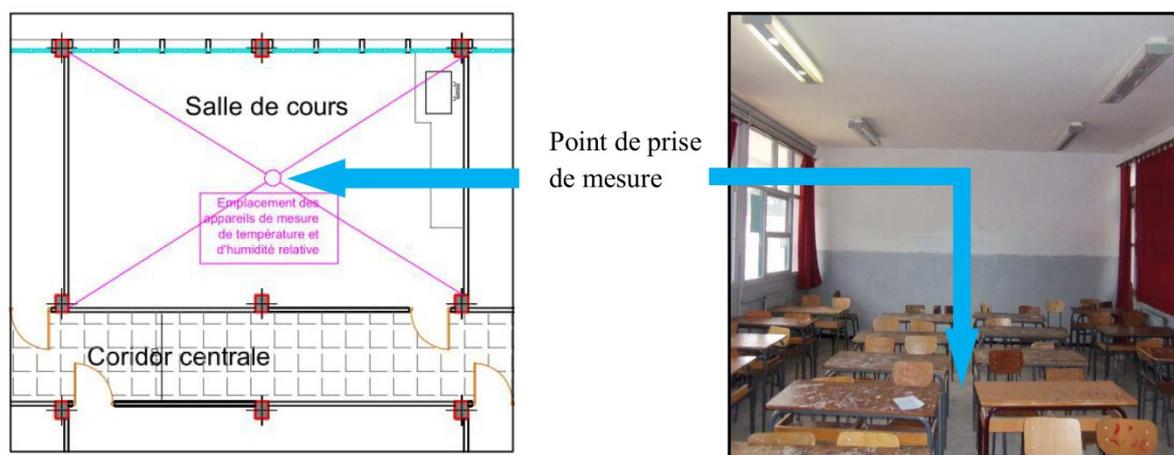


Figure IV.31 : emplacement des points de prises de mesures.

Source : auteur.

IV.5. 1. 2.3. Campagne de mesures d'hiver

L'objectif fixé à travers la campagne de mesures d'hiver est d'évaluer l'ambiance thermique des salles de cours en présence des élèves et sans éléments d'appoint (chauffage actif). Cela permet de connaître les conditions brutes offertes par les deux typologies sans l'apport de chauffage et leur capacité à offrir un minimum de confort pendant la période hivernale. Cela n'a été possible que dans les CEM. En effet, les directeurs de lycées n'ont pas accepté d'éteindre le chauffage pour la journée d'investigation en présence des élèves. Les mesures sont effectuées comme suit :

- Dans la typologie de plan à corridor central, les mesures sont effectuées dans les mêmes salles de cours que celles de l'été, pendant une journée de semaine en présence des élèves et en éteignant le chauffage.
- Dans la typologie de plan à coursive, les mesures sont effectuées dans les mêmes salles de cours que celles de l'été, pendant le week-end, en l'absence des élèves et en éteignant le chauffage. La porte et les fenêtres sont fermées pendant toute la période de prise de mesures.

📅 Dates et durées des campagnes de mesures d'hiver

La campagne de mesures d'hiver s'est déroulée en mois de Janvier. Les mesures sont prises en continu, pendant une seule journée au cours des heures de scolarisation des élèves.

L'intervalle entre deux mesures consécutives est d'une heure. Les dates sont exposées dans le tableau suivant :

Typologies	Les cas d'étude	Dates de prise de mesures	Orientations
Typologie de plan à coursive	Lycée Stambouli Rabah	24 Janvier 2015, de 8h00 à 17h00	Est/Ouest
	lycée Colonel Amirouche	17 Janvier 2015, de 8h00 à 17h00	Nord/Sud
Typologie de plan à corridor central	C.EM Babouche Saïd	15 Janvier 2015, de 8h00 à 17h00	Nord Sud
	C.E.M Base 07	29 Janvier 2015, de 8h00 à 17h00	Est Ouest

Tableau IV.5 : dates et durées des campagnes de mesures d'hiver

IV.5. 2. L'enquête par questionnaire

IV.5. 2. 1. La conception du questionnaire

Concevoir un bon questionnaire permet de recueillir les données souhaitées en minimisant le risque d'erreur. Une revue bibliographique sur des travaux de recherche qui ont exploré cet outil est effectuée afin d'étudier les sources d'informations existantes, d'en tirer le maximum d'informations et de profiter des expériences acquises de ces enquêtes. Deux questionnaires destinés aux élèves sont conçus, le premier concerne la période hivernale et le deuxième concerne la période estivale.

La rédaction du questionnaire nécessite une réflexion approfondie sur le choix des questions. Ces dernières ne doivent pas susciter des explications complémentaires laissées à l'initiative de l'enquêteur. Les questions doivent être formulées de tel sorte que le sujet soit capable de répondre et que la réponse soit formulée de façon authentique et non-influencée.

Les questionnaires sont destinés à une population jeune, les tranches d'âges varient entre 13 à 16 ans pour les CEM et entre 17 à 20 ans pour les lycées. En plus de règles générales relatives à la conception des questionnaires, le vocabulaire employé doit être adapté à cet échantillon. À cet égard, les questionnaires sont conçus en français, ensuite traduits en arabe en employant des expressions simples et précises.

Afin que les questionnaires ne soient pas trop longs et pour éviter d'évaluer une ambiance qui remonte à une période éloignée, les questionnaires sont scindés en deux parties.

La première concerne la matinée, elle est remplie aux environ 11h30. Une autre partie concerne l'après-midi, elle est remplie juste avant la sortie de l'école.

IV.5. 2. 2. Objectifs du questionnaire

L'enquête vise principalement à évaluer la perception des élèves de leur ambiance thermique. Le questionnaire est segmenté en quelques objectifs partiels qui prétendent à tirer certaines informations, comme suit :

- a) Informations personnelles, cette partie vise à identifier le sexe et l'âge ;
- b) Evaluations et préférences des paramètres de l'ambiance thermique à savoir :
 - ✚ La sensation thermique (la température) ;
 - ✚ L'humidité ;
 - ✚ Le courant d'air ;
 - ✚ L'ensoleillement ;
- c) Les changements de températures au cours de la journée ;
- d) Détermination des facteurs d'inconfort dus aux paramètres de l'ambiance thermique ;
- e) Chauffage : nécessité du chauffage au cours de la journée ;
- f) Refroidissement : nécessité du refroidissement au cours de la journée ;

IV.5. 2. 3. Choix de l'échantillon

Après avoir effectué des visites et exploré les salles de cours et leurs occupants, le choix s'est arrêté sur les élèves qui occupent les salles de cours où sont effectuées les campagnes de mesures. L'échantillon est décrit dans le tableau suivant.

		Total	Genre		Tranches d'âges	
			Masculin	Féminin	13-15ans	16-19ans
Typologie de plan à corridor central	Nombre	124	53	71	124	0
	Pourcentage	100%	43%	57%	100%	0%
Typologie de plan à cursive	Nombre	60	26	34	0	60
	Pourcentage	100%	44%	56%	0	100%
Total des deux typologies de plan	Nombre	184	79	105	124	60
	Pourcentage	100%	43%	57%	67%	33%

Tableau IV.6 : Tableau récapitulatif du nombre et des caractéristiques des élèves enquêtés.

Source : auteur.

IV.5. 2. 4. Déroulement de l'enquête

IV.5. 2. 4.1. Déroulement de l'enquête en été

Dans les quatre cas d'étude, nous avons accompagné les participants lors du remplissage du questionnaire. L'objectif est d'établir un échange oral avec les personnes interrogées, ce qui permet de garantir la compréhension des questions posées.

Les questionnaires sont distribués aux environ 11h30 pour remplir la partie de l'ambiance thermique de la matinée uniquement. La partie qui concerne l'après-midi est remplie aux environ 16h00. Les questionnaires sont récupérés le jour même.

IV.5. 2. 4.2. Déroulement de l'enquête en hiver

Pendant la période hivernale, l'enquête n'est pas effectuée dans la typologie de plan à coursive du fait que la demande d'éteindre le chauffage est refusée. Nous avons jugé qu'il est inutile d'effectuer une enquête pendant que le chauffage est allumé car elle n'atteint pas aux objectifs prédéfinis.

Pour la typologie de plan à corridor central, l'enquête est effectuée le jour même de la campagne de mesures d'hiver pendant que le chauffage est éteint. Les questionnaires sont distribués aux environ 11h30 pour remplir la partie de l'ambiance thermique de la matinée ; le reste est rempli et récupéré l'après-midi.

IV.5. 3. Les difficultés rencontrées dans le travail d'investigation

Comme dans tous les travaux de recherche, nous nous sommes heurtés à un certain nombre de difficultés pour effectuer le travail de terrain. La difficulté majeure est le manque d'instruments de mesures. Au début du travail, nous voulions mesurer les quatre paramètres caractérisant l'ambiance thermique. Il s'agit de la température de l'air, l'humidité relative, la vitesse de l'air et les températures de surface. Le manque d'un matériel de mesures, des deux derniers paramètres, est la raison de se limiter uniquement aux températures et aux humidités relatives. Le questionnaire est conçu de sorte à rattraper ce manque. En outre, on a voulu que les campagnes de mesures s'étalent sur des séquences de temps plus longues. Le fait que le matériel est démuné d'une mémoire d'enregistrement automatique a fait que les mesures sont relevées manuellement, ce qui a pris un temps considérable et a empêché de nous étaler sur des séquences plus longues. La deuxième difficulté est la présence d'éléments d'appoint actifs (chauffage allumé) lors de la campagne de mesures et de l'enquête d'hiver dans la typologie

de plan à coursive. Cela nous a empêchés d'effectuer l'enquête et de prendre les mesures en présence des occupants.

Conclusion

Une analyse des paramètres climatiques de la ville de Tizi-Ouzou a permis de constater qu'elle est caractérisée par des périodes posant une problématique du confort thermique. En outre, certaines techniques de conception architecturale permettant de réintégrer le confort sont définies dans ce chapitre.

L'étude des typologies des bâtiments scolaires d'enseignements moyen et secondaire à Tizi-Ouzou a fait ressortir principalement deux types de plan. Il s'agit des typologies proposées par le ministère de l'éducation nationale (voir chapitre II) à savoir : la typologie de plan à coursive et la typologie de plan à corridor central. Ces dernières partagent des caractéristiques communes, tandis qu'elles diffèrent dans la configuration spatiale des salles de cours et leur orientation. Quatre cas d'étude soumis aux quatre orientations pour chaque typologie sont choisis.

L'analyse des caractéristiques bioclimatiques du périmètre étudié comparées à l'analyse des caractéristiques architecturales des cas d'étude a permis de répertorier des défaillances en matière de prise en charge du confort thermique. Citons entre autres :

- ✚ Une mauvaise orientation de quelques salles de cours;
- ✚ Une faible inertie thermique de l'enveloppe;
- ✚ L'absence des protections solaires extérieures;
- ✚ L'absence des matériaux isolants;
- ✚ L'importance du coefficient de forme.

Ces anomalies annoncent préalablement la mauvaise qualité de l'ambiance thermique des deux typologies de plan et que les facteurs de l'environnement climatique ne sont pas pris en considération pour assurer le confort thermique de ces bâtiments. Nous signalons que la typologie de plan à corridor central peut offrir des conditions plus modérées du fait qu'elle se caractérise par une conception plus compacte et moins ouverte que la typologies de plan à coursive.

Cinquième chapitre : Analyse et interprétation des résultats d'investigation

Introduction

Ce chapitre est structuré en deux parties. La première est destinée à explorer les données des campagnes de mesures effectuées pendant les deux périodes estivale et hivernale. Dans cette partie il sera présenté les conditions thermiques des salles de cours soumises à des typologies de plan et orientations différentes.

La deuxième partie est consacrée à l'interprétation des résultats de l'enquête. Il sera question d'évaluer les paramètres de l'ambiance thermique d'un point de vue des occupants et de déterminer leur degré de satisfaction des conditions thermiques des salles de cours. Le traitement des données est effectué en utilisant le logiciel Microsoft Excel.

V.1. Analyse et interprétation des résultats des campagnes de mesures

V.1. 1. Campagne de mesures d'été

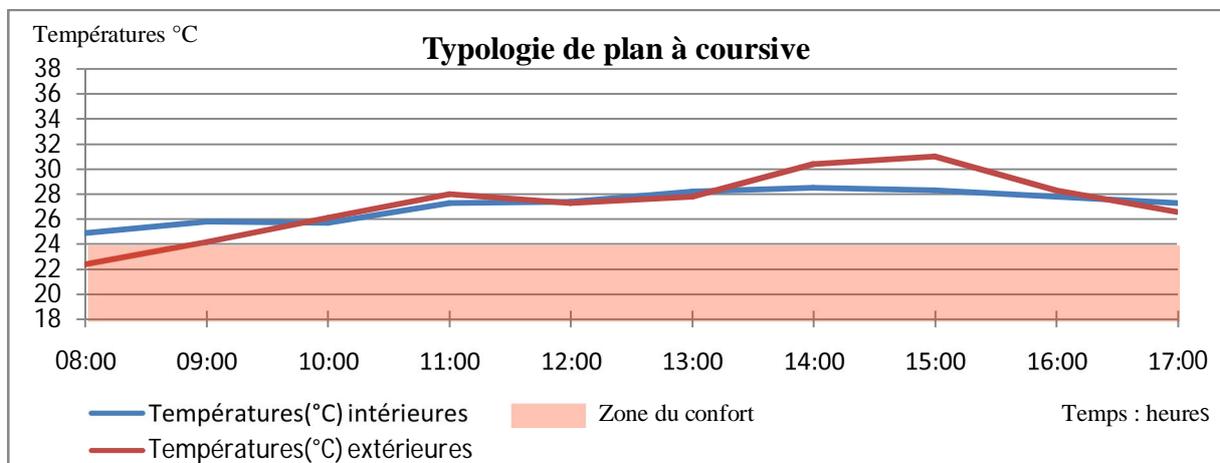
V.1. 1. 1. Typologie de plan à coursive

La typologie de plan à coursive est caractérisée par des salles de cours à double orientation. La campagne de mesures est effectuée dans deux lycées, pendant deux journées différentes. Dans le premier, les salles sont orientées Nord/Sud, dans le deuxième, elles sont orientées Est/Ouest.

Dans l'objectif de comprendre l'impact des conditions extérieures et intérieures et leurs interactions sur l'ambiance thermique, nous avons décrit, pendant les journées des campagnes de mesures, les deux milieux (état d'ouverture des salles, présence des élèves, les conditions météorologiques de la journée, les comportements des élèves ...etc.).

V.1. 1. 1. 1. Salles orientées Nord/Sud : lycée Colonel Amirouche

a) Température

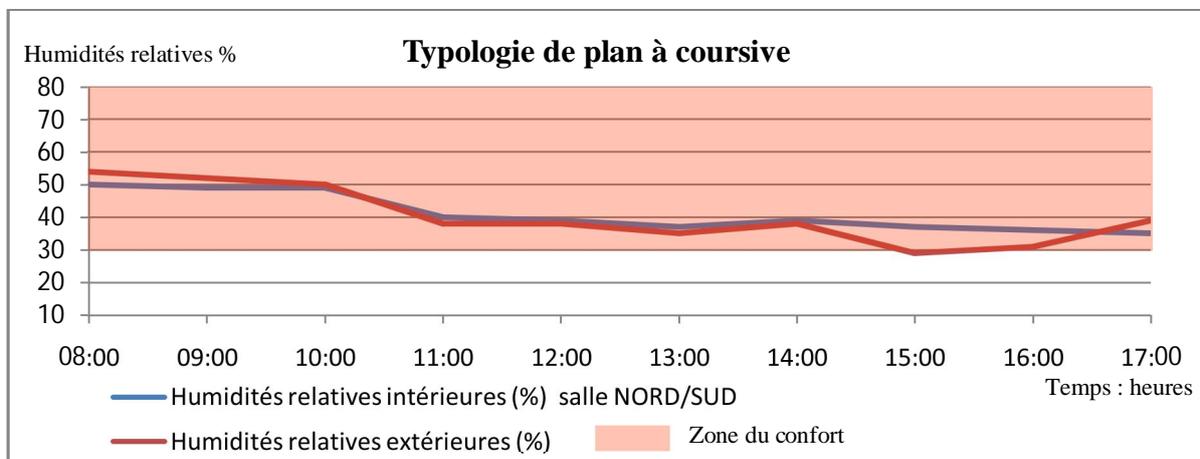


Graphique : V.1 : Variation des températures intérieures et extérieures de la salle orientée Nord/Sud.

D'après le graphique, les températures du confort ne sont atteintes que pendant la première heure de la matinée. En effet, la température de la salle change en fonction des températures extérieures et de l'apport des élèves.

La valeur maximale des températures intérieures est de 28.5 °C, elle est atteinte à 14h00. Tandis que la température maximale extérieure est atteinte à 15h00 avec une valeur de 31°C. La différence maximale entre les températures intérieures et extérieures enregistrées au même moment n'est pas considérable, elle est de 2.7 °C. Cela peut être dû à l'importance de la surface vitrée qui caractérise les typologies de plan à coursive, d'autant plus que les fenêtres sont ouvertes.

b) Humidité relative

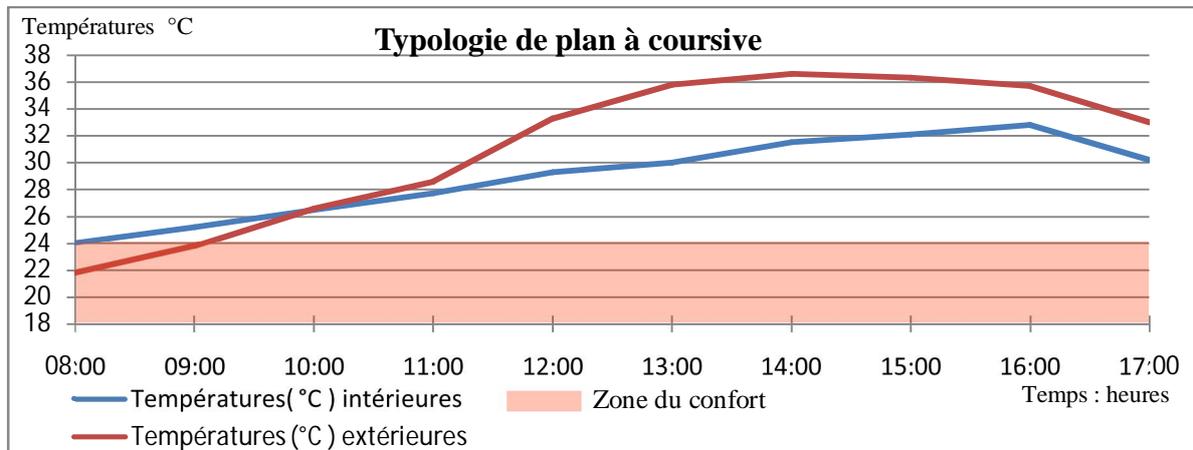


Graphique : V.2 : variation des humidités relatives intérieures et extérieures de la salle orientée Nord/Sud.

La courbe des humidités relatives intérieures suit globalement celle des humidités extérieures jusqu'à 14h00 avec un écart maximal qui ne dépasse pas 5%. Cela peut être dû à la présence du courant d'air provoqué par l'ouverture des fenêtres et la présence des vents extérieurs qui évacuent l'humidité produite par la respiration des élèves. À partir de 14h00, les humidités relatives extérieures connaissent des variations (diminuent ensuite augmentent), tandis que celles de l'intérieur restent élevées avec des valeurs relativement constantes. À noter que les valeurs de l'humidité relative restent dans la zone du confort arrêtée par le digramme psychrométrique.

V.1. 1. 1. 2. Salles orientées Est/Ouest : lycée Stambouli Rabah

a) Température

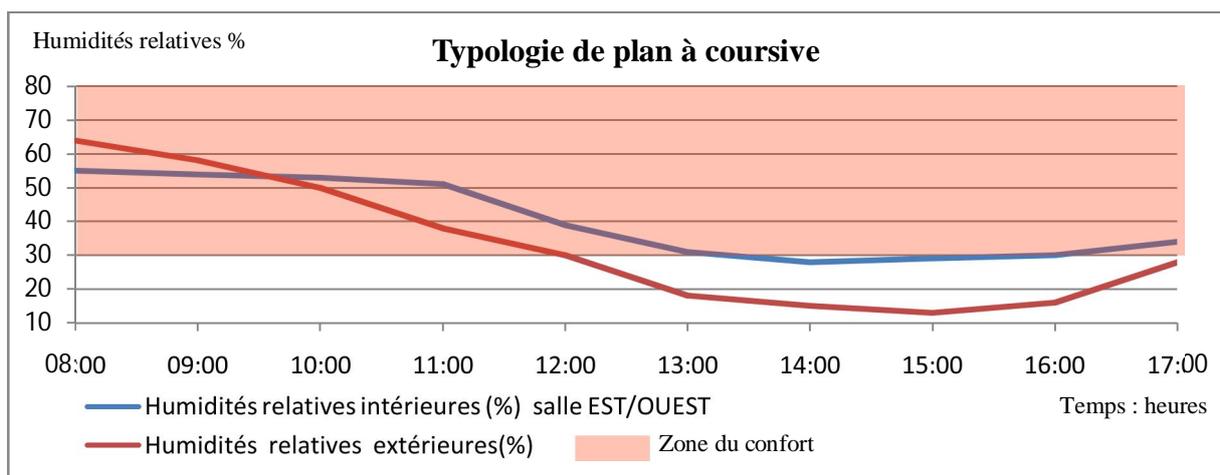


Graphique : V.3 : Variation des températures intérieures et extérieures de la salle orientée Est/Ouest.

La lecture des graphes fait ressortir que pendant la matinée, les températures intérieures sont supérieures aux températures extérieures avant 10h00. La zone de confort est atteinte de 08h00 à 9h30 uniquement. La courbe des températures intérieures évolue lentement où elle varie entre 24°C à 08h00 et 30°C à 13h00. Cela peut s'expliquer par la courte durée d'ensoleillement que reçoivent ces façades pendant la matinée.

Quant à l'après-midi, la température augmente relativement plus vite pour atteindre sa valeur maximale de 32.8°C à 16h00 à cause des apports solaires reçus par la façade orientée à l'Ouest.

b) Humidité relative



Graphique : V.4 : Variation des humidités relatives intérieures et extérieures de la salle orientée Est/Ouest.

En été, les valeurs d'humidité extérieure sont réduites, celles des salles de cours sont supérieures à celles de l'extérieure à partir de 9h30 grâce aux apports respiratoires des élèves.

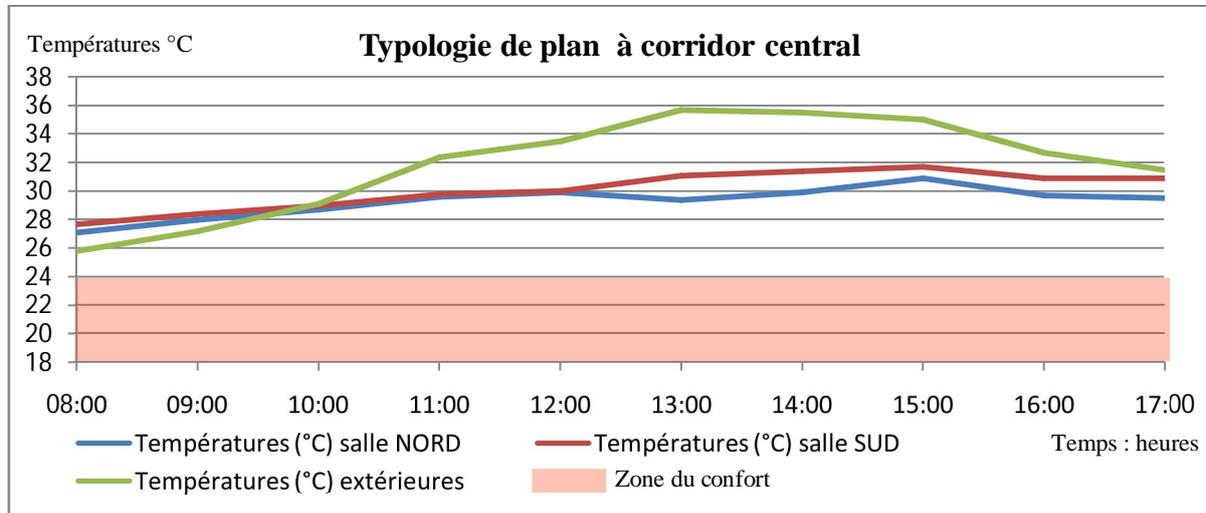
Le maximum des humidités relatives intérieures et extérieures est respectivement 55% et 64% atteintes à 8h00 toutes les deux. Tandis que le minimum est respectivement 28 % et 13 % atteintes à 14h00 et 15h00.

V.1. 1. 2. Typologie de plan à corridor central

La typologie de plan à corridor central est caractérisée par des salles de cours à uni-orientation. La campagne de mesures s'est effectuée dans deux CEM, pendant deux journées différentes. Les salles de cours sont orientées au Nord ou bien au Sud dans le premier cas d'étude ; à l'Est ou bien l'Ouest dans le second.

V.1. 1. 2.1. Salles orientées au Nord et au Sud : C.E.M Babouche Saïd

a) Température

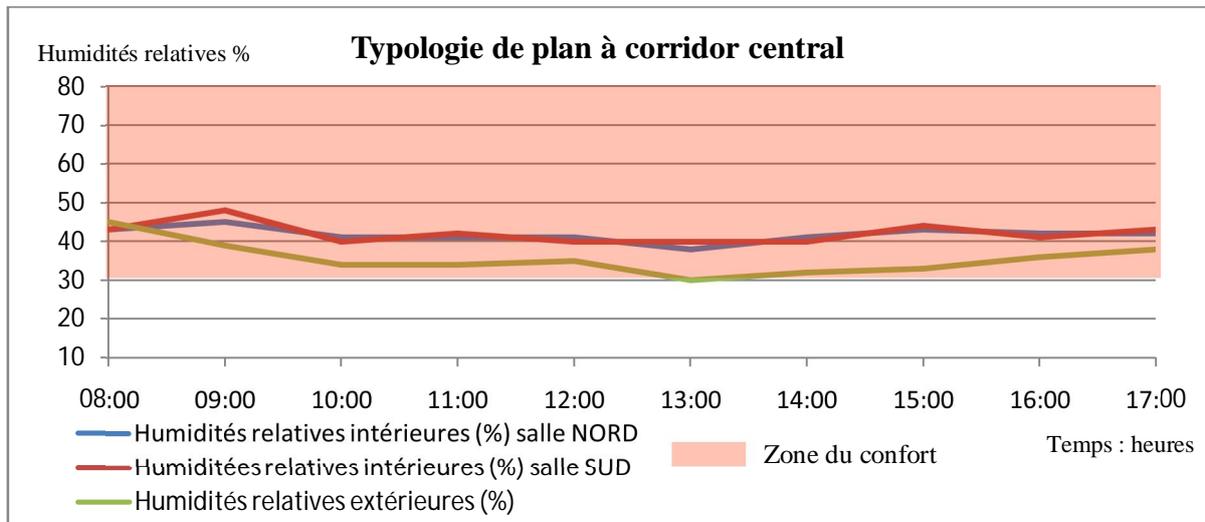


Graphique : V.5 : Variation des températures intérieures et extérieures des salles orientées au Nord et au Sud.

La lecture des graphes fait ressortir qu'à partir de 10h00 les températures intérieures des deux salles sont supérieures aux températures extérieures, elles varient entre 28°C et 31,2°C. Ces valeurs dépassent la limite du confort thermique.

Les températures sont plus élevées dans la salle orientée au Sud à partir de 12h00 à cause du rayonnement solaire reçu par la façade Sud contrairement à la façade Nord. Les températures intérieures commencent à diminuer à partir de 15h00 à cause de la diminution du rayonnement solaire reçu à partir de cette heure.

b) Humidité relative

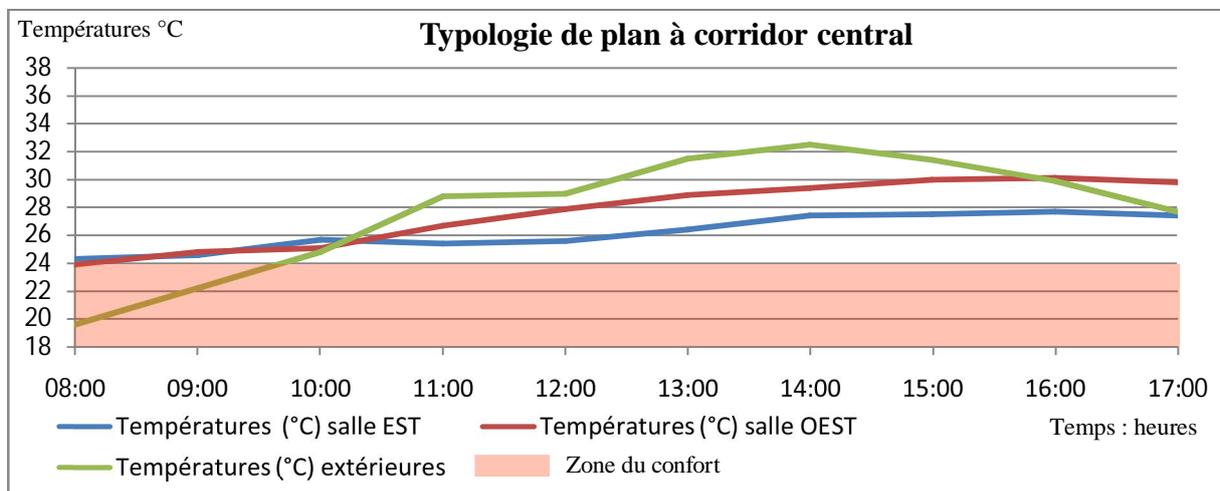


Graphe : V.6 : variation des humidités relatives intérieures et extérieures des salles orientées au Nord et au Sud.

Le taux d'humidité relative des deux salles est plus élevé que l'extérieur durant toute la journée. Alors qu'on n'enregistre pas de grandes différences entre les deux salles. Les valeurs d'humidités intérieures se situent dans la zone de confort et varient entre 30% et 45%.

V.1. 1. 2.2. Salles orientées à l'Est et à l'Ouest: C.E.M Base 07

a) Température



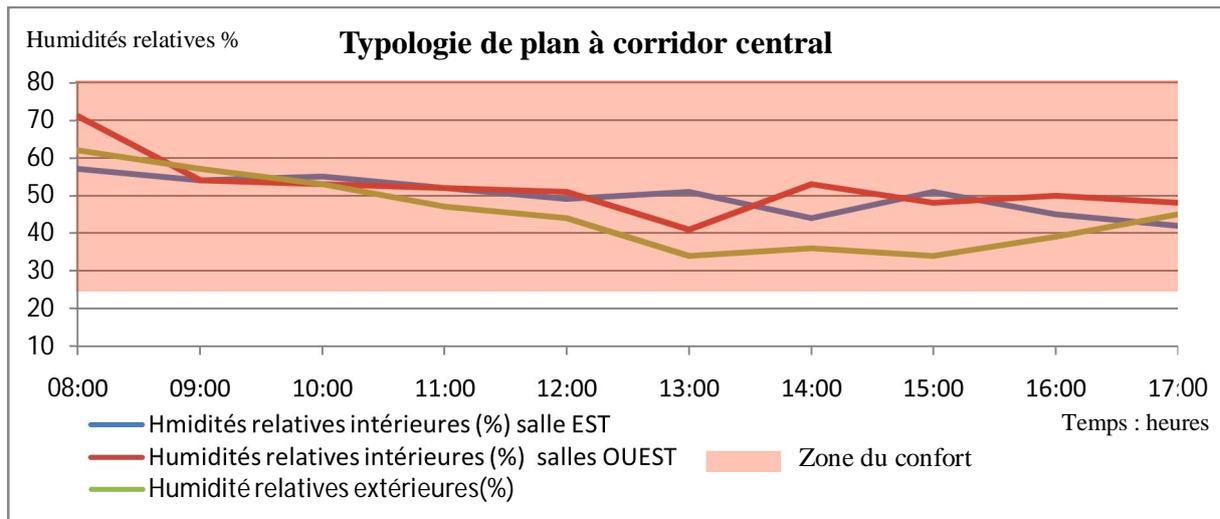
Graphe : V.7 : variation des températures intérieures et extérieures des salles orientées à l'Est et à l'Ouest.

La lecture des graphes fait ressortir que les températures commencent à augmenter à partir de 10h00, notamment dans les salles orientées à l'Ouest, à cause des apports internes des occupants. Il est à noter que les températures de la salle orientée à l'Est connaissent une légère diminution de 10h00 à 14h00, cela peut être dû à l'absence des élèves pendant cet intervalle à

cause d'une séance de sport suivie par la pause de midi. À partir de 14h00, les températures restent relativement stables.

Les températures de la salle orientée à l'Ouest sont plus importantes que celles de la salle orientée à l'Est notamment pendant l'après-midi. La valeur maximale de 30.4 °C est atteinte à 16h00 du fait qu'elle reçoit une quantité importante de radiations solaires directes pendant l'après-midi.

b) Humidité relative



Graphique : V.8 : variation des humidités relatives intérieures et extérieures des salles orientées à l'Est et à l'Ouest.

Les humidités relatives intérieures sont plus élevées que celles de l'extérieur, pratiquement pendant toute la journée. Les valeurs intérieures varient entre 41 % et 70% ; elles se situent dans la zone de confort tandis que les humidités relatives extérieures varient entre 34 % et 62%.

V.1. 1. 3. Synthèse

Dans la typologie de plan à coursive, les températures intérieures varient entre 24.1 °C et 32.1°C, l'écart maximal entre les températures intérieures et extérieures est de 5.8 °C. En comparant ces résultats à la zone de confort (18°C - 24°C) définie par le diagramme psychométrique, nous pouvons conclure que l'ambiance thermique présente un inconfort pendant la plupart du temps passé dans les salles de cours.

De même, dans la typologie de plan à corridor central, les températures intérieures dans les quatre salles varient entre 24.2 °C et 31.3°C, dépassant dans la plupart du temps la limite du confort thermique. L'écart maximal enregistré dans cette typologie est de 6.3°C.

Les valeurs de l'humidité relative se situent dans les deux typologies entre 28% et 71%. D'après le diagramme psychrométrique de la ville de Tizi-Ouzou, ces valeurs sont incluses dans la zone du confort.

En conclusion, la quantification des paramètres physiques présentés ci-dessus montre la défaillance des deux typologies étudiées dans la procuration du confort thermique pendant la période chaude pour les quatre orientations. Cela est soutenu par l'élévation des températures intérieures au même titre que celles extérieures avec un faible écart dans la plupart du temps. Par ailleurs, les températures des salles restent assez élevées malgré que la campagne de mesures s'est déroulée vers la fin de la saison chaude dont les températures extérieures sont plus modérées.

Il est à constater également, l'importance des apports de chaleur et d'humidité produits par les élèves. En effet, l'humidité est souhaitable pour humidifier l'air sec intérieur qui se situe globalement dans la zone de confort. Tandis que l'apport de température semble être un facteur négatif sur les ambiances thermiques qui se situent dans une zone inconfortable.

V.1. 2. Campagne de mesures d'hiver

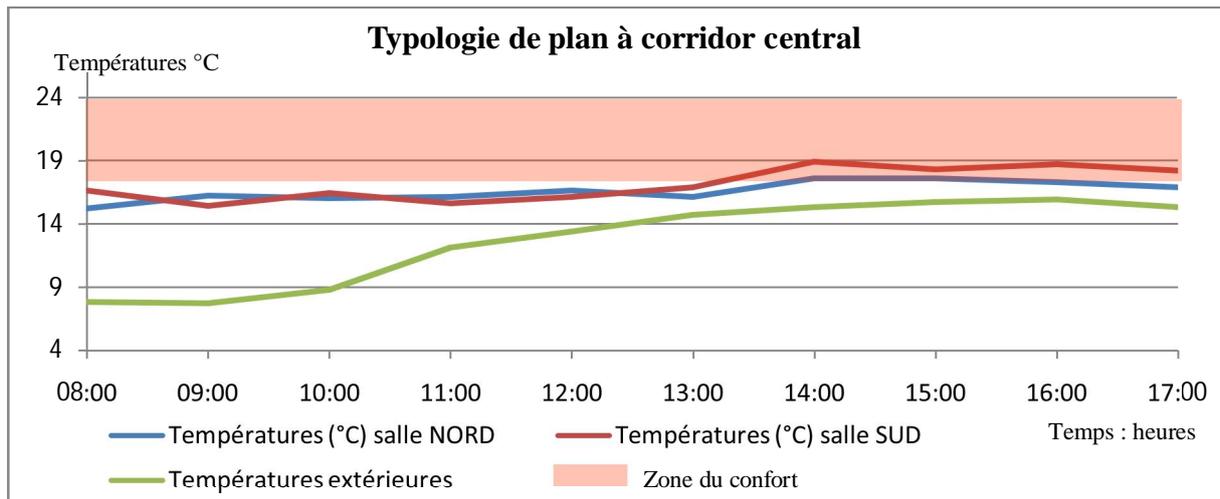
Pendant la période hivernale, les mesures dans la typologie de plan à coursive sont effectuées dans des conditions différentes que celles de la typologie de plan à corridor central. En effet, l'objectif des campagnes de mesures est d'évaluer l'ambiance thermique des salles de cours sans chauffage et dans les conditions habituelles de travail. L'extinction du chauffage pendant que les salles sont occupées n'a pas été possible dans la typologie de plan à coursive. Ainsi, les mesures sont effectuées comme suit :

- ✚ Dans la typologie de plan à corridor central, les mesures sont effectuées dans les mêmes conditions fixées par l'objectif à savoir : salles occupées, chauffage éteint.
- ✚ Dans la typologie de plan à coursive, les mesures sont effectuées dans des salles de cours fermées, sans présence d'élèves et chauffage éteint.

V.1. 2. 1. Typologie de plan à corridor central

V.1. 2. 1.1. Salles orientées au Nord et au Sud : C.E.M Babouche Saïd

a) Température

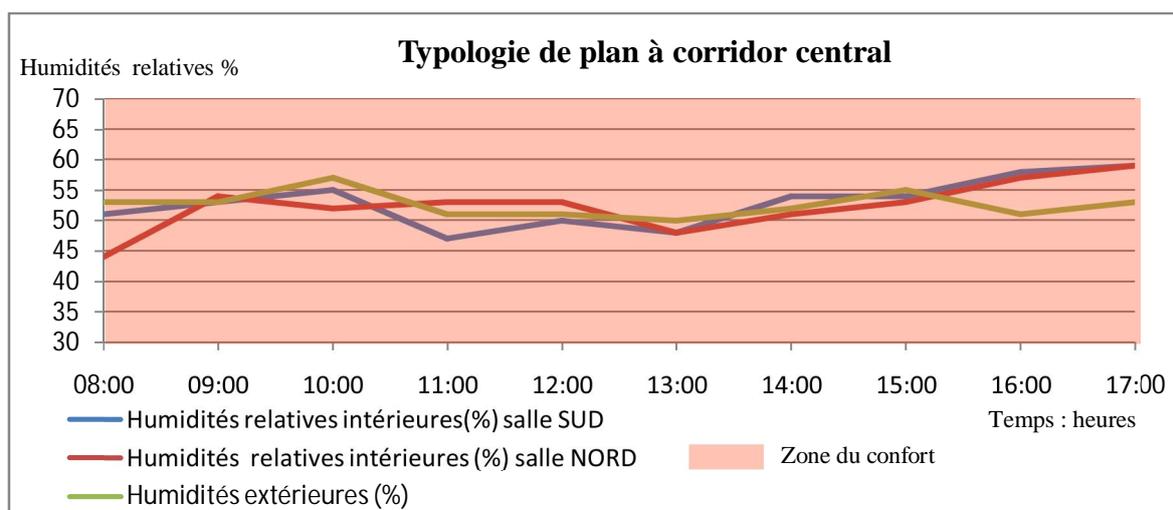


Graphe : V.9 : variation des températures intérieures et extérieures des salles orientées au Nord et au Sud.

La lecture des graphes fait sortir que les températures extérieures des deux salles sont inférieures aux températures intérieures. Ces dernières varient entre 15.2°C et 18.7°C, alors que celles d'extérieure varient entre 7.7°C et 15.9 °C.

De 8h00 à 13h00, les températures intérieures des deux salles sont rapprochées du fait que le ciel était partiellement nuageux et que la salle orientée au Sud était vide de 10h00 à 13h30. À partir de 13h00, les températures de la salle Sud deviennent légèrement supérieures à celles de la salle Nord du fait qu'elle reçoit un rayonnement solaire par la façade Sud. Toutefois, les élèves ont remis les rideaux dans cette salle, ce qui doit réduire ces températures.

b) Humidité relative

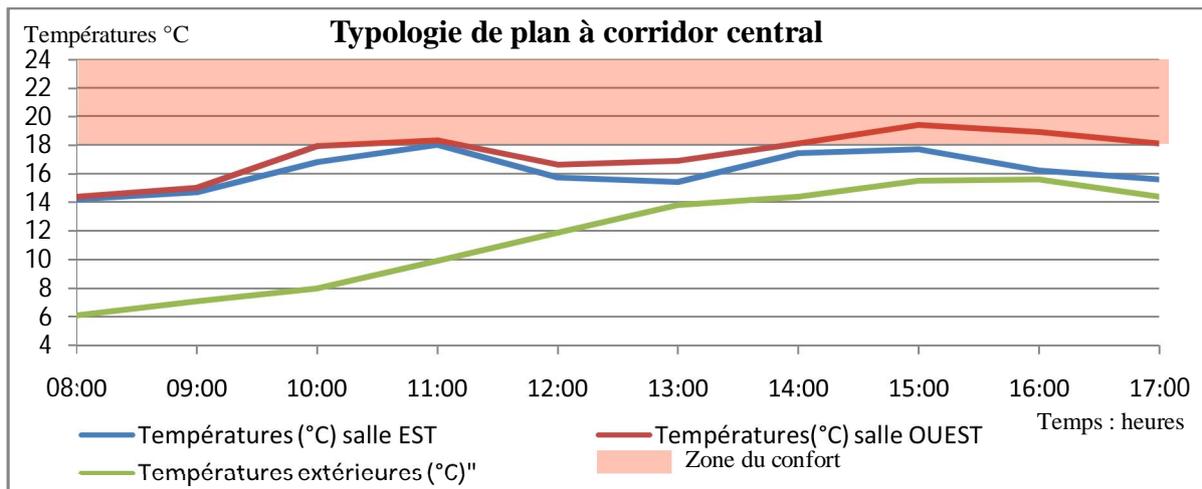


Graphe : V.10 : Variation des humidités relatives intérieures et extérieures des salles orientées au Nord et au Sud.

Les valeurs d'humidité varient entre 34% et 60%, elles se situent dans la zone de confort. Les humidités relatives intérieures connaissent des variations tout au long de la journée ; alors qu'on n'enregistre pas de grandes différences entre les deux salles ainsi qu'entre l'intérieur et l'extérieur. Cela peut être expliqué par le fait que les salles sont utilisées pratiquement par le même nombre d'élèves et sous les mêmes conditions d'usage.

V.1. 2. 1.2. Salles orientées à l'Est et à l'Ouest: C.E.M Base 07

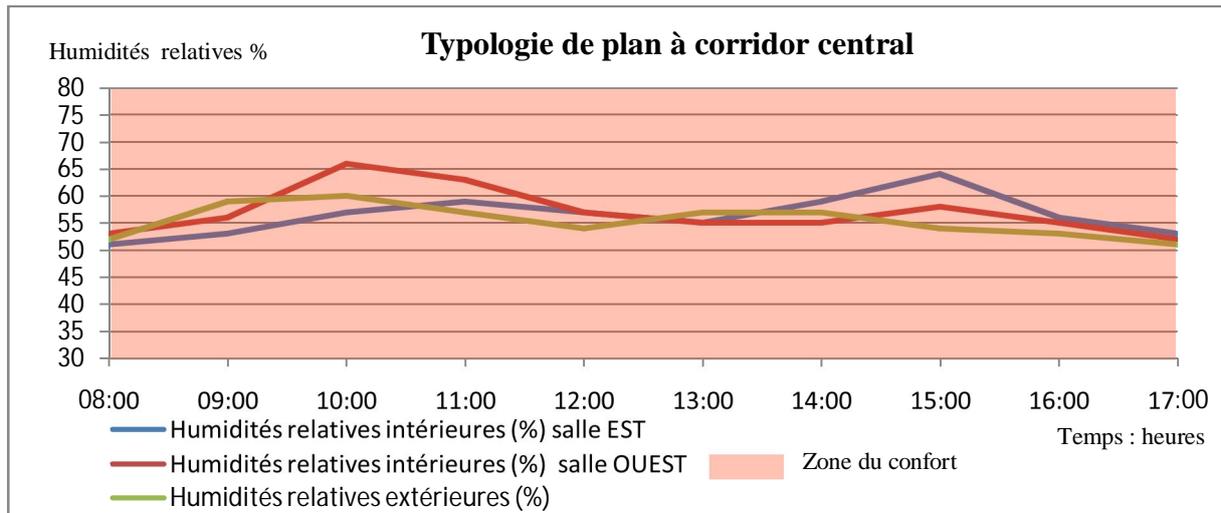
a) Température



Graphé : V.11: variation des températures intérieures et extérieures des salles orientées à l'Est et à l'Ouest.

Les températures des salles sont supérieures aux températures extérieures durant toute la journée sans atteindre le seuil du confort dans la plupart du temps. Elles varient entre 14.2°C et 19.4°C. Les températures augmentent de 8h00 à 11h00 grâce aux apports thermiques des élèves ; par contre, elles diminuent de 12h00 à 13h30 avec leur sortie. Pour l'après-midi, on remarque une élévation de température avec la reprise des élèves. Les températures sont plus élevées dans la salle orientée à l'Ouest du fait qu'elle reçoit une radiation solaire pendant l'après-midi.

b) Humidité relative



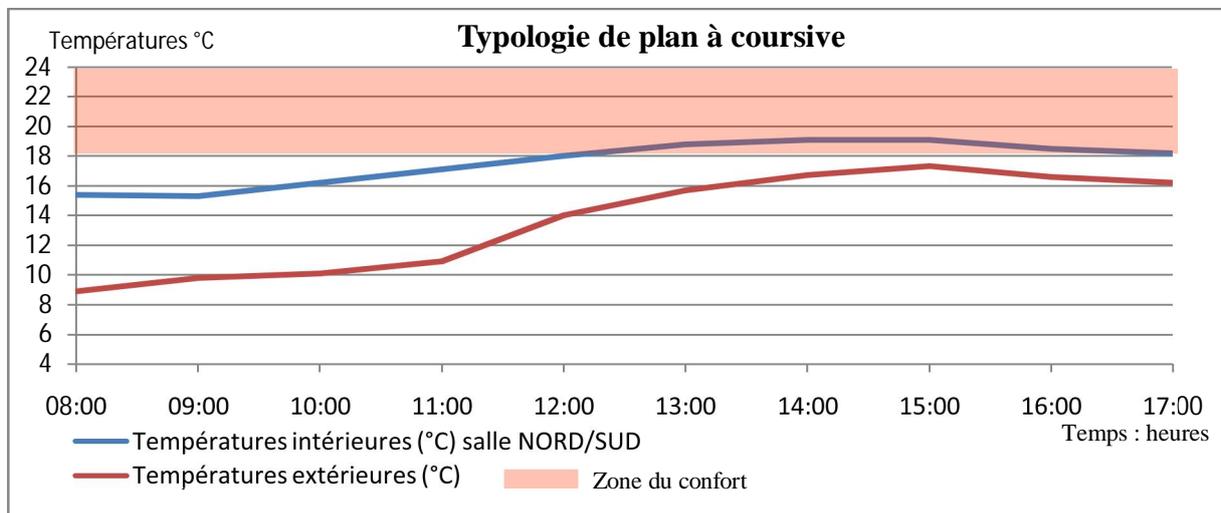
Graphe : V.12: variation des humidités relatives intérieures et extérieures des salles orientées à l’Est et à l’Ouest.

Les humidités relatives extérieures et intérieures sont rapprochées. Ces dernières restent dans des plages confortables et varient entre 51% et 66%.

V.1. 2. 2. Typologie de plan à coursive

V.1. 2. 2. 1. Salles orientées au Nord/Sud : Lycée Colonel Amirouche

a) Température

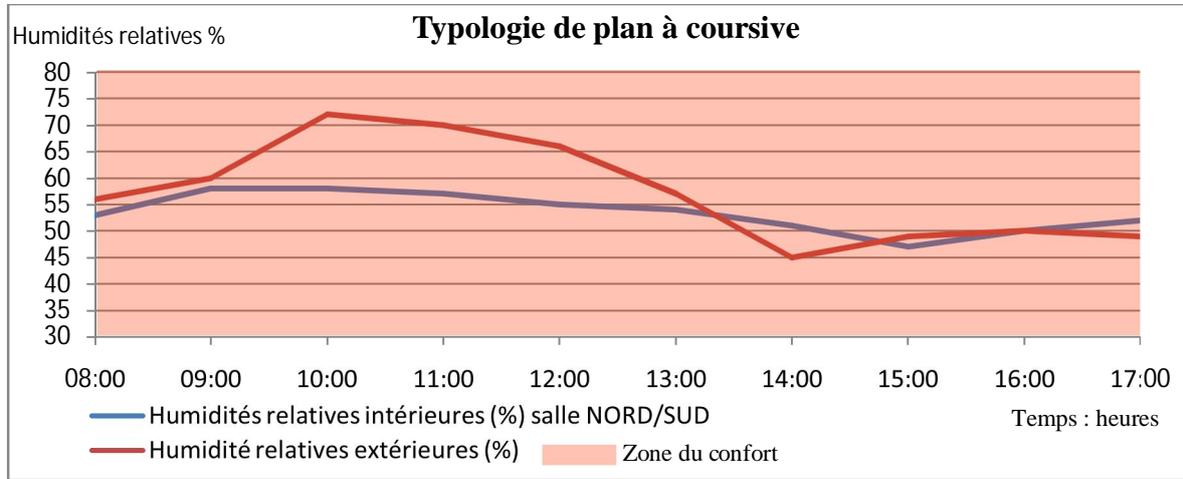


Graphe : V.13:variation des températures intérieures et extérieures de la salle orientée au Nord/Sud.

Les températures intérieures sont supérieures à celles de l’extérieur pendant toute la journée. La valeur maximale des températures intérieures est de 18.8°C, elle est atteinte à 13h00. Tandis que la température maximale extérieure est atteinte à 14h00 pour une valeur de 16.7°C. Ainsi, les températures procurées par cette typologie, en prenant uniquement la forme

et la composition de son enveloppe et sans apports internes, sont dans la plupart du temps inconfortables.

c) Humidité relative

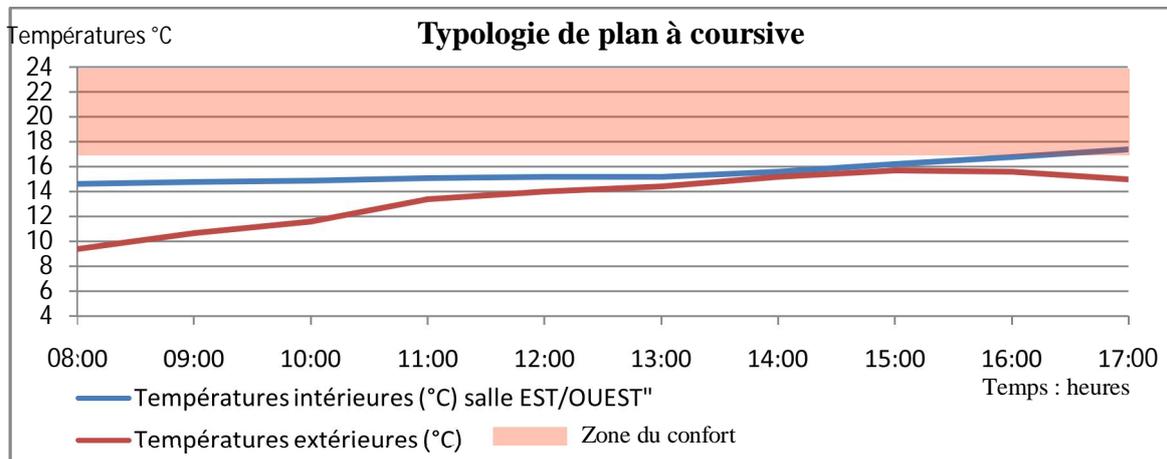


Graphes : V.14: variation des humidités relatives intérieures et extérieures de la salle orientée au Nord/Sud.

Les humidités relatives intérieures sont inférieures aux humidités extérieures durant la matinée. Pendant l'après-midi, les humidités intérieures et extérieures prennent des valeurs rapprochées.

V.1. 2. 2. Salles orientées Est/Ouest : Lycée Stambouli Rabah

a) Température

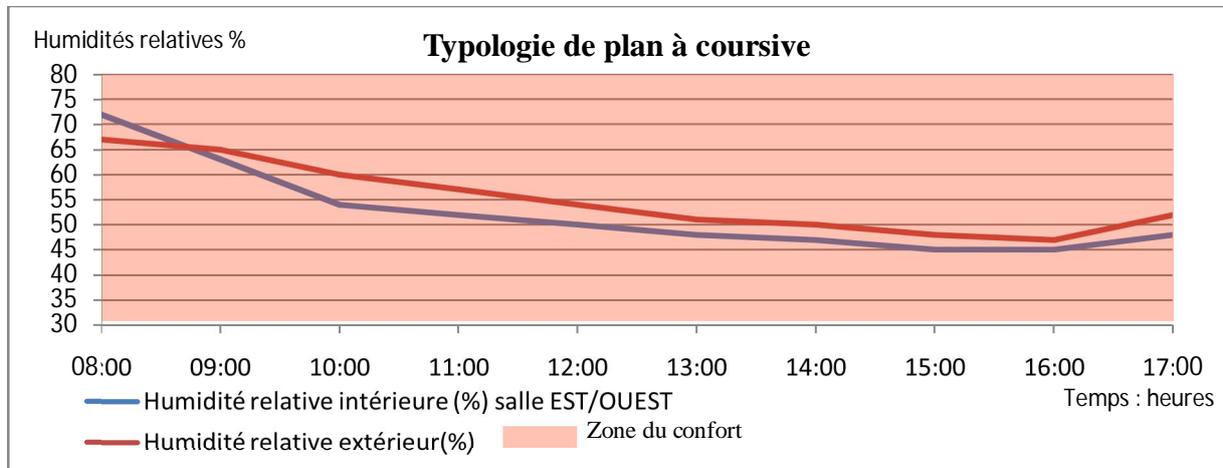


Graphes : V.15 : Variation des températures intérieures et extérieures de la salle orientée à l'Est/Ouest.

La température intérieure est supérieure à la température extérieure tout au long de la journée. La courbe des températures intérieures évolue lentement de 8h00 jusqu'à 14h00 où elle varie entre 14.7°C et 15.4°C. À partir de 14h00, la température commence à augmenter

relativement plus vite pour atteindre sa valeur maximale de 17.4 °C à 17h00 du fait que la façade orientée à l'Ouest reçoit un rayonnement solaire intense pendant l'après-midi.

c) Humidité relative



Graphique : V.16:variation des humidités relatives intérieures et extérieures de la salle orientée à l'Est/Ouest.

La courbe d'humidités relatives intérieures suit celle de l'extérieur et reste inférieure pratiquement pendant toute la journée. Les valeurs des humidités intérieures varient entre 45 % et 72%.

V.1. 2. 3. Synthèse

La quantification des paramètres présentés ci-dessus montre que, sur la base de la plage des températures de confort (18°C -24°C), les salles de cours présentent une ambiance thermique inconfortable pratiquement tout au long de la journée. Dans la typologie de plan à coursive, les mesures sont effectuées sans présence des élèves et avec le chauffage éteint. Ce protocole a permis d'évaluer la performance thermique de la forme et de la composition de l'enveloppe sans apports internes actifs ou passifs. Les températures intérieures dans les deux salles varient entre 14.6 °C et 19.1°C.

Dans la typologie de plan à corridor central, les mesures sont effectuées dans les conditions habituelles du travail pendant que le chauffage est éteint. Les températures intérieures dans les quatre salles varient entre 14.1°C et 19.4°C.

Nous pouvons conclure que les valeurs de température n'atteignent pas le seuil du confort thermique dans la plupart du temps passé dans les salles de cours des deux typologies étudiées et pour les quatre orientations pendant la période froide. En revanche, les humidités relatives internes se situent dans la zone de confort et varient entre 44% et 70%.

V.2. Analyse et interprétation des résultats de l'enquête par questionnaire

V.2.1. Déroulement du questionnaire et traitement des informations

Les élèves enquêtés occupent les salles de cours dont sont effectuées les campagnes de mesures. Le même échantillon est retenu dans les deux périodes hivernale et estivale. La passation du questionnaire s'est faite d'une manière directe en présence de l'auteur le jour même des campagnes de mesures pour la période hivernale.

La méthode utilisée pour l'analyse des résultats est celle « des tris à plat ». Elle consiste à calculer le pourcentage de chaque réponse proposée dans les questions par rapport au nombre total de réponses. Les résultats sont présentés sous forme de graphique en utilisant le logiciel « Microsoft Office Excel».

V.2. 2. Analyse et interprétation des résultats de l'enquête d'été

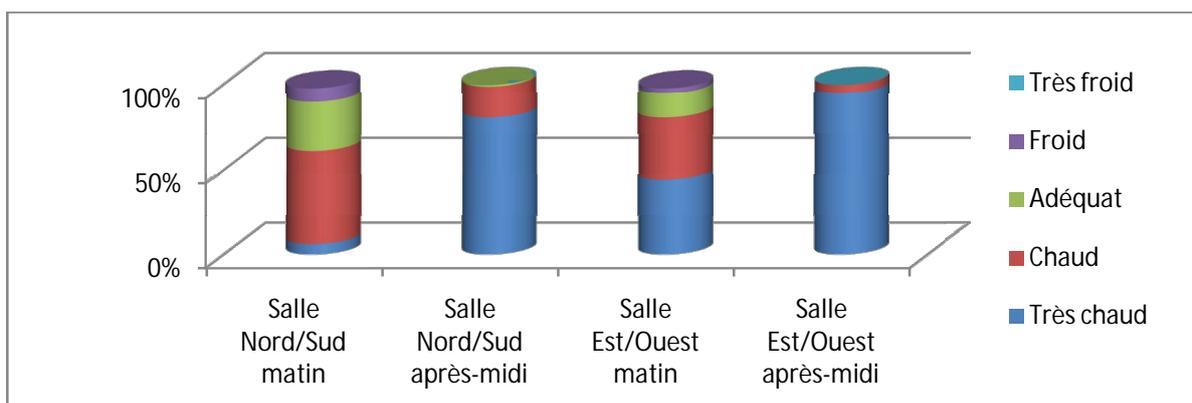
V.2. 2.1. Typologie de plan à coursive

À rappeler que la typologie de plan à coursive est caractérisée par des salles de cours à double orientation. L'enquête est effectuée dans deux lycées. Dans le premier les salles de cours sont orientées au Nord/Sud, dans le deuxième les salles sont orientées à l'Est/Ouest.

V.2. 2.1.1. Evaluation des paramètres de l'ambiance thermique

a) Température

🏠 Evaluation par les occupants

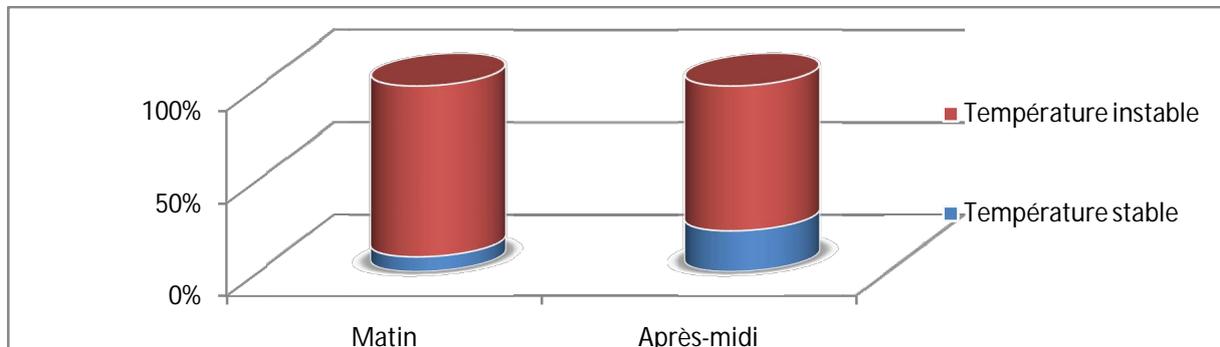


Graphique V.17 : Appréciation de la chaleur.

La perception des élèves vis-à-vis de la température pendant la matinée varie entre chaud (55%) et adéquat (29 %) pour la salle orientée Nord/Sud. Chaud, voire très chaud dans la salle orientée Est/Ouest. Pendant l'après-midi, la perception des élèves tend vers une ambiance très chaude avec 80% pour la salle orientée Nord/Sud et 95 % pour la salle orientée Est/Ouest.

Nous remarquons que les perceptions négatives sont plus accentuées dans la salle à orientation Est/Ouest.

📊 Changement de la température

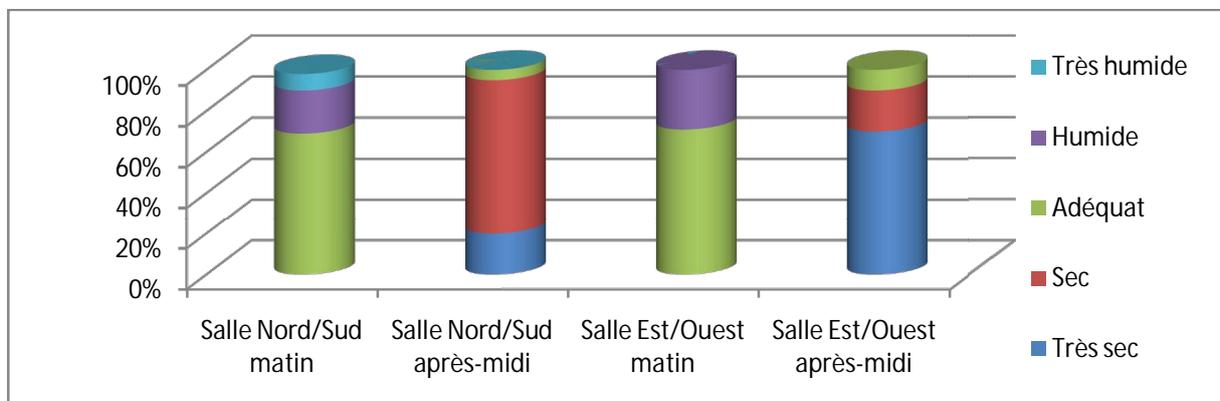


Graphique V.18: Variation de la température.

Les élèves aperçoivent l'instabilité de la température entre le début et la fin de la journée en faveur d'une élévation. Pendant la matinée, la température augmente à partir de 9h00 pour 35% d'usagers et à 10h00 pour 44%. Quant à l'après-midi la température s'élève à partir de 14h00 pour 70% d'élèves.

b) Humidité de l'air

📊 Evaluation par les occupants

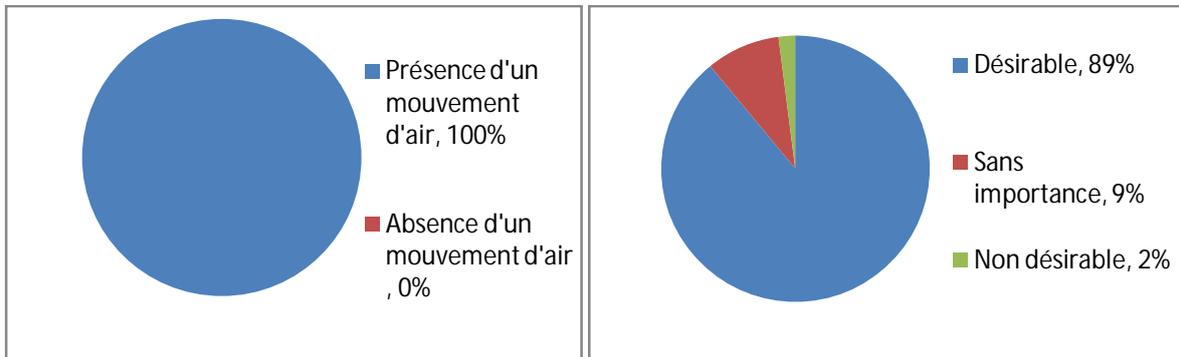


Graphique V.19: Evaluation de l'humidité de l'air.

Pendant la matinée, l'humidité de l'air est qualifiée adéquate pour les deux salles de cours ; avec 61% pour la salle orientée Nord/Sud et 71% pour la salle orientée Est/Ouest. Pendant l'après-midi, les élèves pensent que l'air est sec pour 75 % dans la salle orientée Nord/ Sud ; et très sec pour 70% dans la salle orientée à l'Est/Ouest.

c) Mouvement de l'air

✚ Sensations et préférences du mouvement d'air



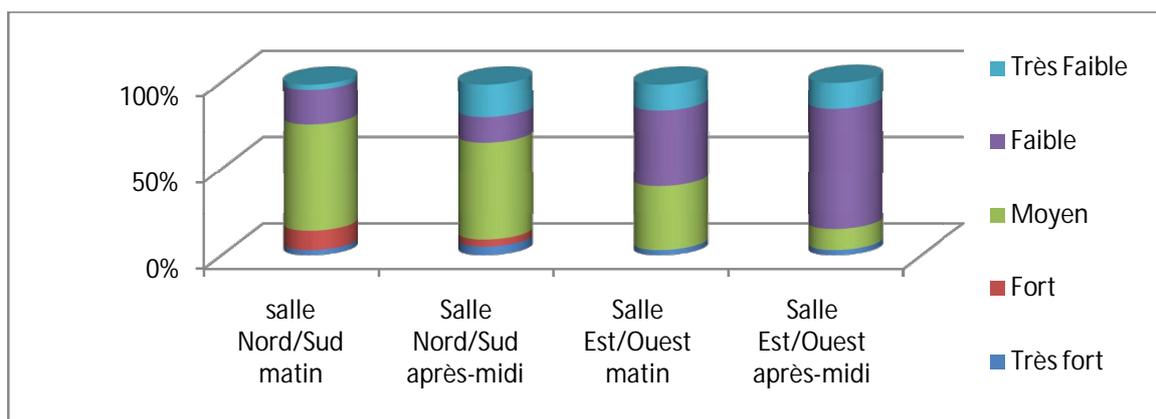
Graph V.20: Présence du mouvement d'air.

Graph V.21: Préférences du mouvement d'air.

Dans cette question, nous avons demandé aux sujets, s'ils perçoivent un mouvement d'air dans leurs salles de cours quand la porte et les fenêtres sont ouvertes ou l'une des deux. La totalité des sujets interrogés sentent un mouvement d'air. Cela peut s'expliquer par la double orientation qui favorise la création des courants d'air.

Quant aux préférences, 89% des réponses sont en faveur d'un mouvement d'air désirable. Ce désir peut être à l'origine de l'ouverture de la porte et des fenêtres pendant toute la journée de l'enquête.

✚ Evaluation de la vitesse de l'air par les occupants

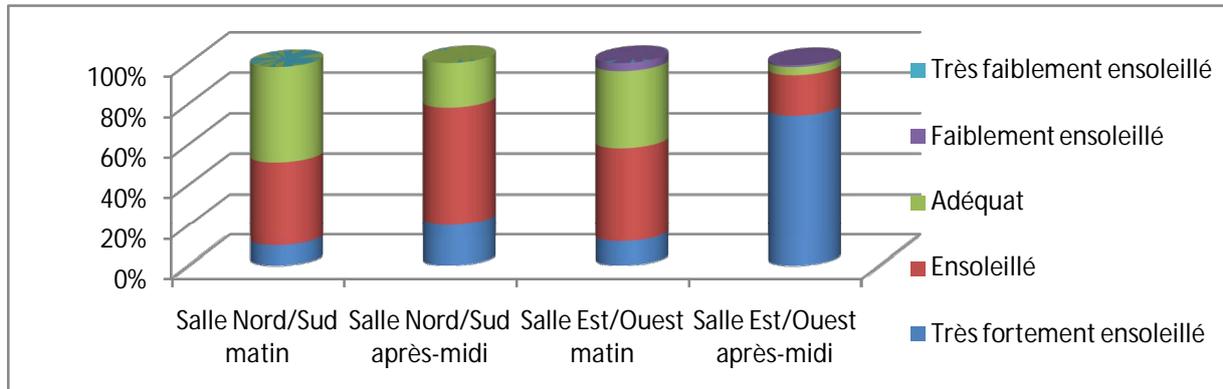


Graph V.22: appréciation de la vitesse de l'air.

Les usagers de la salle orientée Nord/Sud pensent que le mouvement de l'air est moyen pendant toute la journée. Les élèves de la salle orientée Est/Ouest pensent que le mouvement d'air est faible (44%) voire moyen (37%) pendant la matinée et faible (70%) pendant l'après-midi.

d) Ensoleillement

■ Evaluation par les occupants

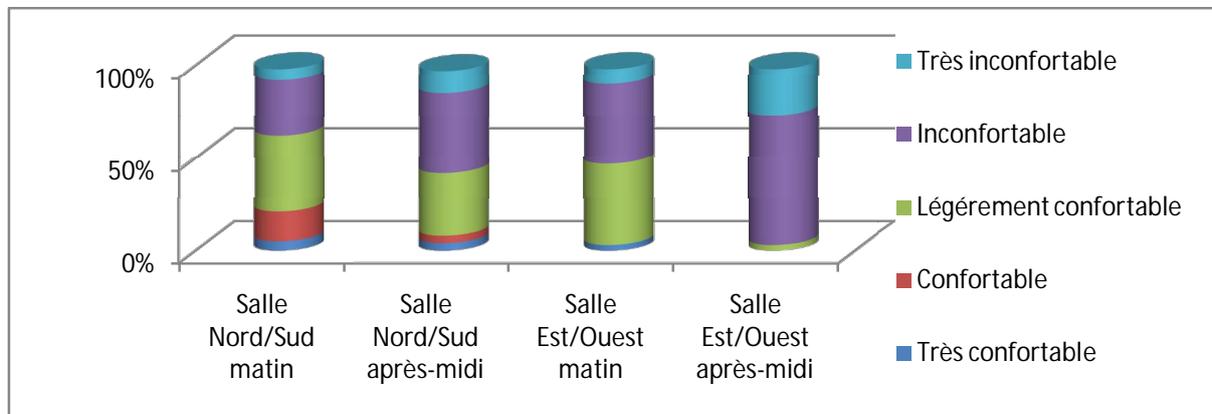


Graphique V.23: Evaluation de l'ensoleillement.

Globalement, les élèves pensent que pendant la matinée, les salles de cours ont un ensoleillement adéquat. Pendant l'après-midi, la salle orientée Nord /Sud est appréciée comme ensoleillée (58%), tandis que la salle orientée Est/Ouest est appréciée négativement comme très fortement ensoleillée (74%).

V.2. 3.1.2. Evaluation du confort thermique

a) Le confort thermique

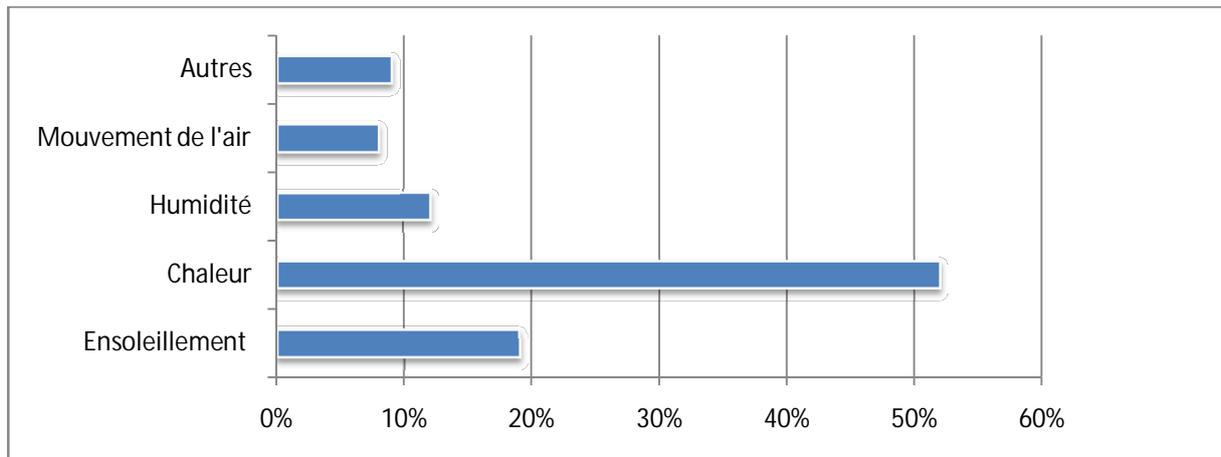


Graphique V.24: évaluation du confort thermique.

Nous avons demandé aux élèves d'évaluer l'ambiance thermique en prenant en compte les paramètres pré-évalués. La plupart des élèves situent l'ambiance thermique entre légèrement confortable et inconfortable dans la salle orientée au Nord/Sud.

La salle orientée Est/Ouest est appréciée comme légèrement confortable voire inconfortable pendant la matinée. Cependant, l'état d'inconfort est accentué dans cet orientation pendant l'après-midi avec 70% pour une ambiance inconfortable ; et 25 % pour très inconfortable.

b) Les facteurs d'inconfort thermique

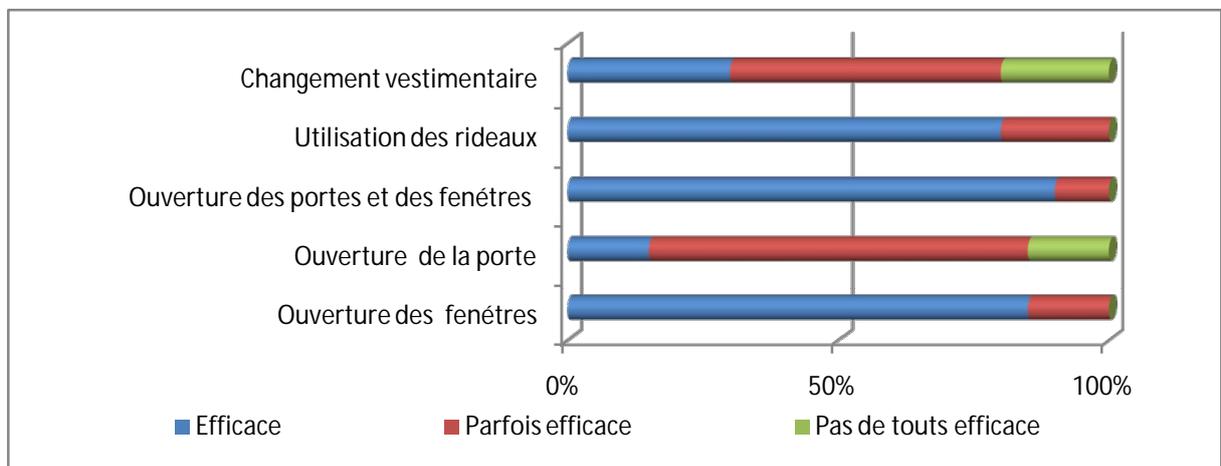


Graphe V.25: Les facteurs d'inconfort thermique.

Le problème de la chaleur est cité en premier lieu (52%). Cela confirme l'état d'insatisfaction des élèves vis-à-vis du paramètre de la température évalué plus haut. L'ensoleillement est cité en deuxième lieu dans les facteurs les plus défavorables pour le confort avec 19 % suivi par l'humidité et le mouvement de l'air en dernier lieu.

V.2. 2.1.3. Amélioration de l'ambiance thermique

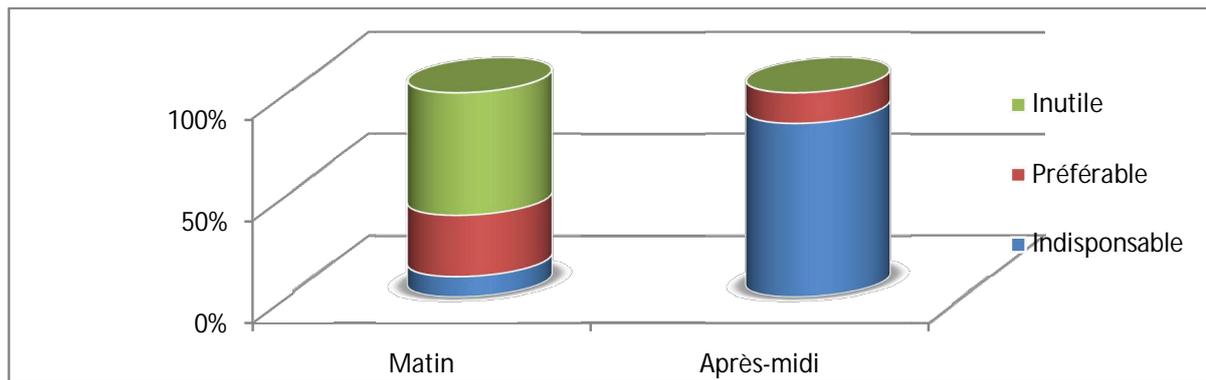
a) Efficacité des actions adaptatives pour améliorer l'ambiance thermique



Graphe V.26: Efficacité des actions adaptatives pour améliorer l'ambiance thermique.

Il est demandé dans cette question, le degré d'efficacité des comportements les plus récurrents pour retrouver une situation de confort thermique. Les comportements les plus efficaces sont l'ouverture des fenêtres, l'ouverture des portes et des fenêtres en même temps ainsi que l'utilisation des rideaux. Les actions de changer les vêtements ainsi que l'ouverture des portes uniquement semblent être moins efficaces.

b) Nécessité de refroidissement



Graphique V.27: Nécessité du refroidissement.

Une grande partie des usagers (60%) pense que le refroidissement est inutile pendant la matinée. En revanche, sa nécessité est fortement exprimée par 85% d'occupants pendant l'après-midi. Ces résultats rejoignent les perceptions des paramètres de confort ou les conditions thermiques restent globalement favorables pendant la matinée et inconfortables pendant l'après-midi.

V.2. 2.1.4. Synthèse

L'analyse des résultats de l'enquête menée dans la typologie de plan à coursive pendant la période estivale montre que :

- ✚ Pendant la matinée, les paramètres de l'ambiance thermique, tel qu'évalués par la plupart des sujets interrogés, sont admissibles à l'exception de la chaleur. Ainsi, pour les deux orientations évoquées, les élèves situent l'ambiance entre inconfortable et légèrement confortable avec des nuances en faveur des salles orientées Nord/Sud.
- ✚ Pendant l'après-midi, l'état d'inconfort est accentué notamment dans la salle orientée Est/Ouest. Les élèves ont qualifié globalement l'ambiance comme étant inconfortable, voire très inconfortable.

Ces résultats confirment ceux obtenus dans la campagne de mesures dont il est conclu que les conditions thermiques, bien qu'elles ne soient pas confortables pendant toute la journée, restent plus favorables pendant la matinée que l'après-midi. À cet effet, les usagers ont manifesté leur attrait d'avoir un dispositif de rafraîchissement pendant l'après-midi. Par ailleurs, les élèves de la salle orientée Nord/ Sud semblent être plus satisfaits de l'ambiance thermique intérieure que les utilisateurs de la salle orientée Est/Ouest.

Le facteur d'inconfort le plus signalé est relatif à l'augmentation de la température suivie par l'ensoleillement.

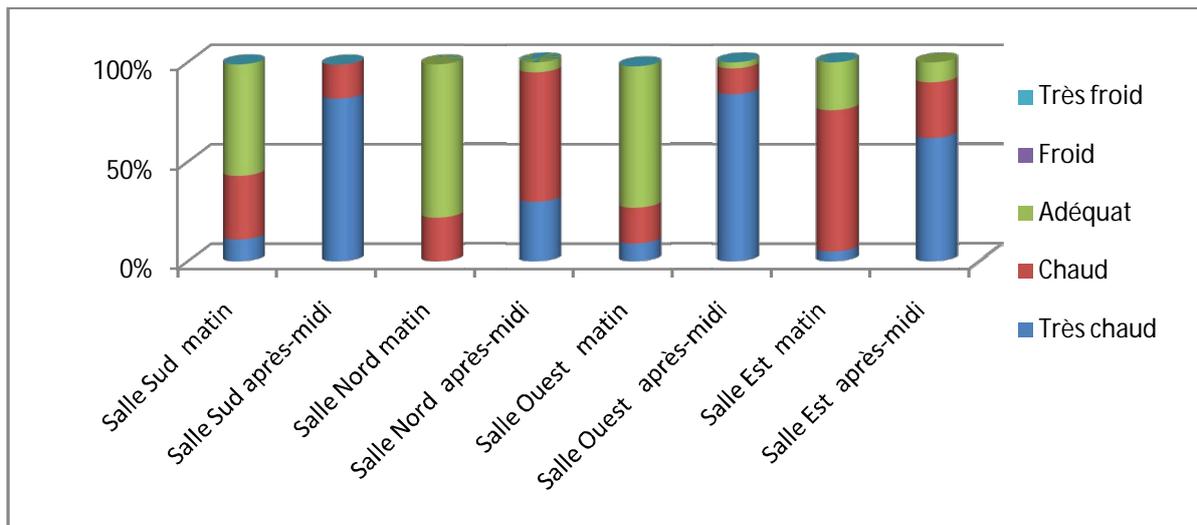
V.2. 2.2. Typologie de plan à corridor central

V.2. 2.2.1. Evaluation des paramètres de l'ambiance thermique

À rappeler que la typologie de plan à corridor central est caractérisée par des salles de cours à uni-orientation. L'enquête est déroulée dans deux CEM. Les salles de cours sont orientées au Nord et au Sud dans le premier; à l'Est et à l'Ouest dans le second.

a) Température

■ Evaluation de la chaleur par les occupants



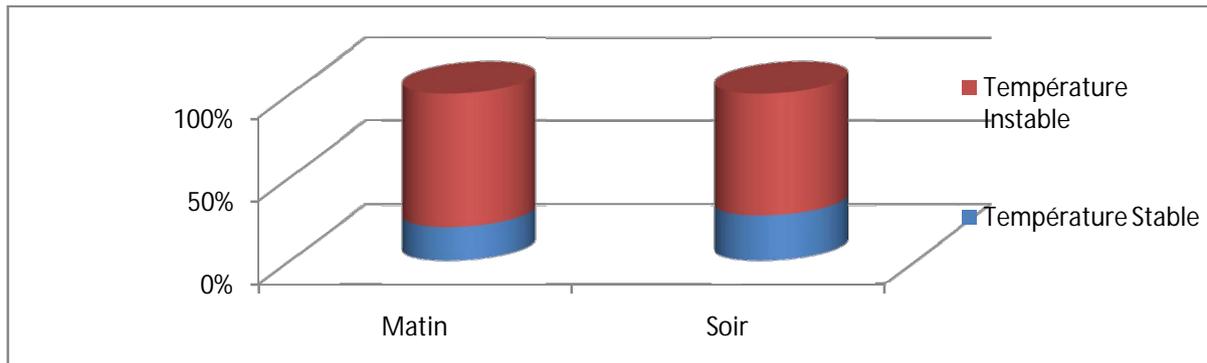
Graphique V.28: Appréciation de la chaleur.

L'ambiance thermique pendant la matinée est appréciée comme adéquate (56%) voire chaude (32%) pour la salle orientée au Sud. Pratiquement adéquate (82%) pour la salle orientée au Nord. Pendant l'après-midi, la perception des élèves tend vers une ambiance très chaude pour la salle orientée au Sud (81 %) et chaude pour la salle orientée au Nord (65%).

Les élèves estiment que la chaleur est adéquate pendant la matinée (71%) pour la salle orientée à l'Ouest. Tandis que pour l'après-midi, 84% d'entre eux jugent que l'ambiance est très chaude. En outre, les sujets interrogés pensent que la salle orientée à l'Est est chaude pendant la matinée (71 %) et très chaude pendant l'après-midi.

On conclut que l'ambiance thermique est négativement perçue pour la plupart du temps et pour les quatre orientations ; l'insatisfaction est plus accentuée dans les salles orientées à l'Ouest et au Sud surtout pendant l'après-midi.

Changeement de la température

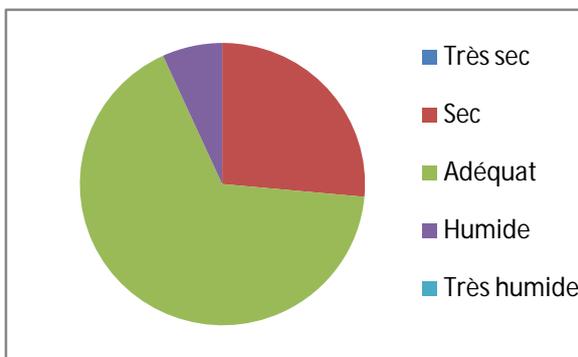


Graphique V.29: changement de la température.

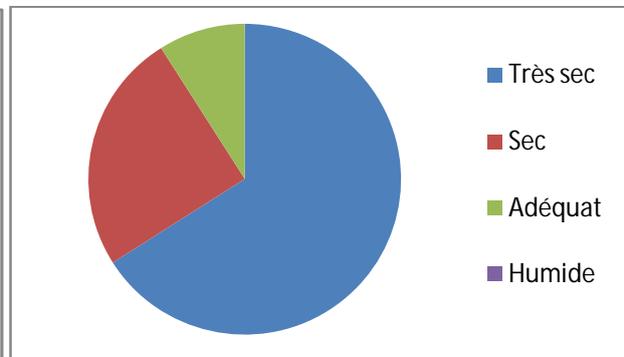
La plupart des élèves sentent l'instabilité de la température entre le début et la fin de la matinée et de l'après-midi et signalent leur inconfort vis-à-vis de cette instabilité. Pendant la matinée, 80% d'élèves perçoivent que la température change en faveur d'une élévation à partir de 10h00 pour 33% et à 11h00 pour 43%. Pareil pour l'après-midi, 73% d'enquêtés ont répondu que la température est instable en faveur d'une augmentation à partir de 14h00 pour 50% et 15h00 pour 36%.

b) Humidité de l'air

Evaluation de l'humidité de l'air par les occupants



Graphique V.30: Evaluation de l'humidité de l'air pendant la matinée.

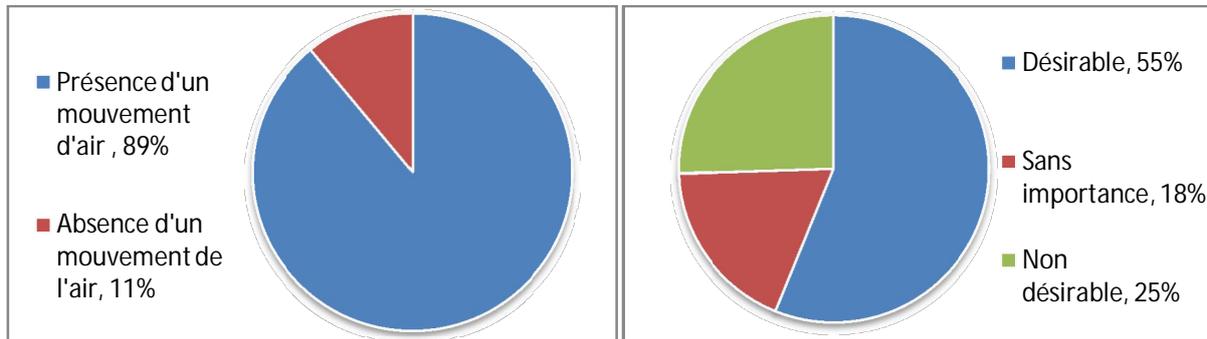


Graphique V.31: Evaluation de l'humidité de l'air pendant l'après-midi.

Globalement, l'air est apprécié comme adéquat (68%) pendant la matinée. Pendant l'après-midi, les élèves estiment que l'air est très sec avec 66%. Malgré que le taux d'humidité reste dans les limites de confort pendant l'après-midi, d'après la campagne de mesures, la perception négative de la température semble influencer aussi l'évaluation de l'humidité par les occupants.

c) Mouvement de l'air

✚ Sensation et préférences du mouvement de l'air

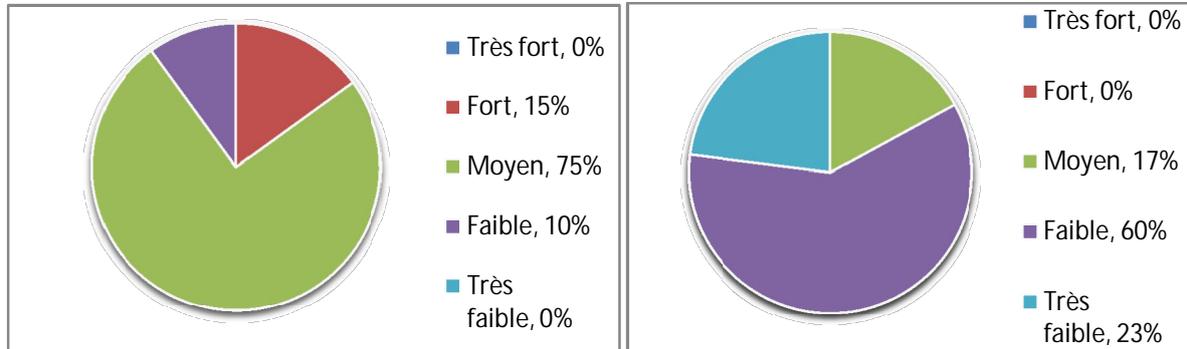


Graphe V.32: Présence du mouvement de l'air.

Graphe V.33: Préférences du mouvement de l'air.

Les résultats montrent que 89% d'élèves sentent un mouvement d'air quand les fenêtres ou les portes ou les deux sont ouvertes en même temps. 55% d'élèves enquêtés dans les quatre orientations désirent ce mouvement d'air et 18% pensent que ce mouvement d'air est sans importance.

✚ Evaluation de la vitesse de l'air par les occupants



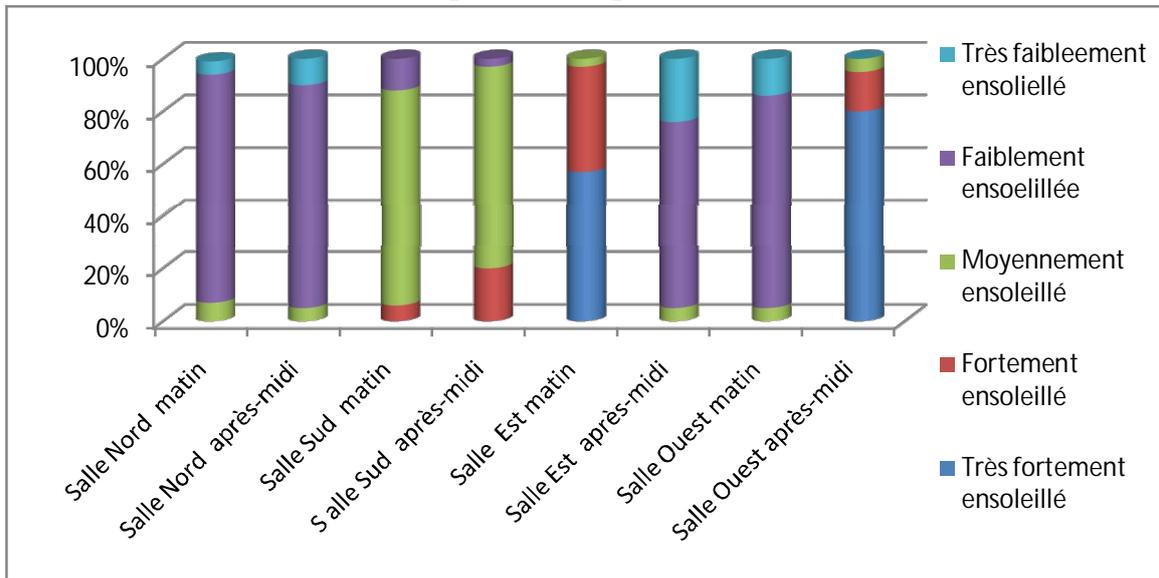
Graphe V.35: appréciation de la vitesse de l'air pendant la matinée.

Graphe V.34: appréciation de la vitesse de l'air pendant l'après-midi.

La plupart des usagers pensent que la vitesse de l'air est moyenne pendant la matinée. Pendant l'après-midi, elle est appréciée comme faible pour 60% et très faible pour 23%.

d) Ensoleillement

■ Evaluation de l'ensoleillement par les occupants



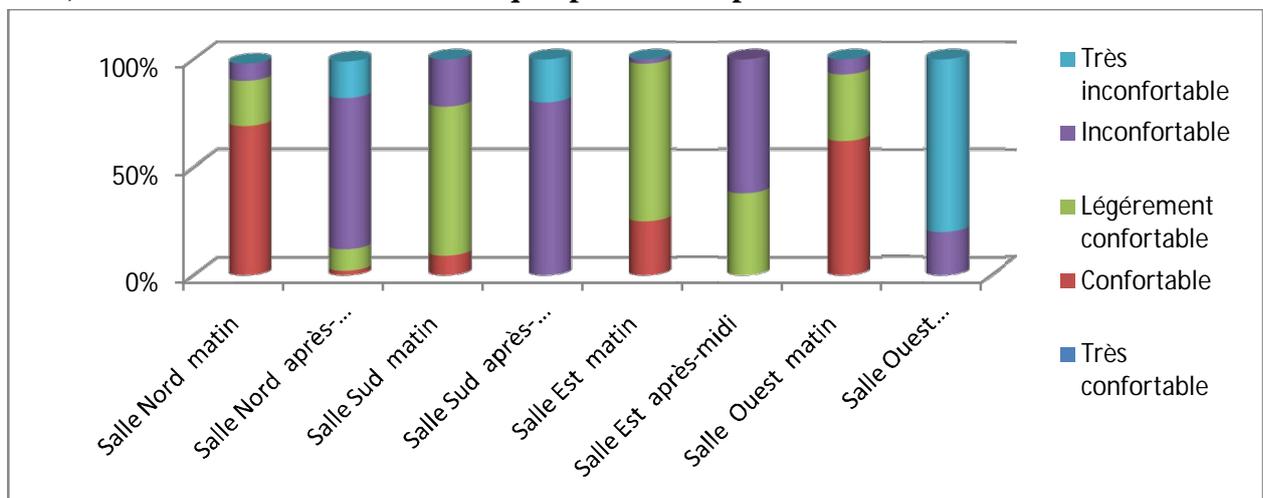
Graph V.36: Evaluation de l'ensoleillement.

La plupart des usagers pensent que la salle orientée au Nord est faiblement ensoleillée (85%) pendant toute la journée. La salle orientée au Sud est moyennement ensoleillée avec 82% pour la matinée et 77% pour l'après-midi.

Par ailleurs, les enquêtés pensent que la salle orientée à l'Est est fortement ensoleillée pendant la matinée, tandis que pendant l'après-midi, ils estiment que la salle est faiblement ensoleillée. Les élèves de la salle orientée à l'Ouest estiment que leur salle est faiblement ensoleillée pendant la matinée (76%) et très fortement ensoleillée pendant l'après-midi (80%).

V.2. 2.1.2. Evaluation du confort thermique

a) Evaluation du confort thermique par les occupants



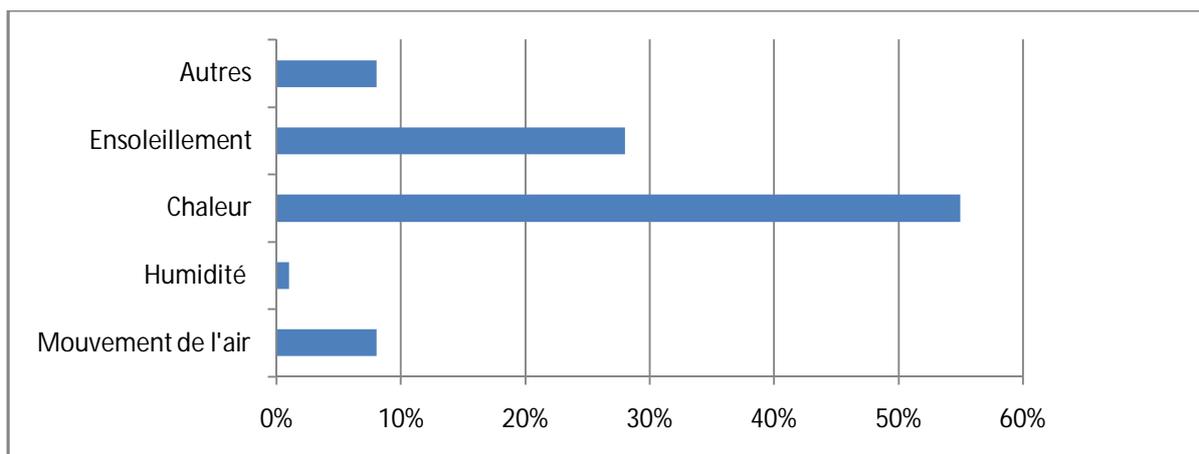
Graph V.37: évaluation du confort thermique.

Les enquêtés de la salle orientée au Nord se trouvent dans une situation de confort thermique pendant la matinée (69 %). Cependant, ils évaluent négativement leur ambiance pendant l'après-midi avec 70% pour une ambiance inconfortable. La perception dans la salle orientée au Sud est légèrement confortable (69%) pendant la matinée et inconfortable (80%) pendant l'après-midi.

Les élèves de la salle orientée à l'Est trouvent que l'ambiance thermique est légèrement confortable (73%) pendant la matinée. Par contre, ils évaluent l'après-midi comme étant inconfortable pour 62 %. La salle orientée à l'Ouest est appréciée comme confortable pour 62% pendant la matinée et très inconfortable (80 %) pendant l'après-midi.

En conclusion, les salles de cours sont légèrement confortables pendant la matinée. En revanche, les salles orientées au Nord, Sud et Est sont inconfortables pendant l'après-midi et celle orientée à l'Ouest est très inconfortables.

b) Les facteurs d'inconfort thermique

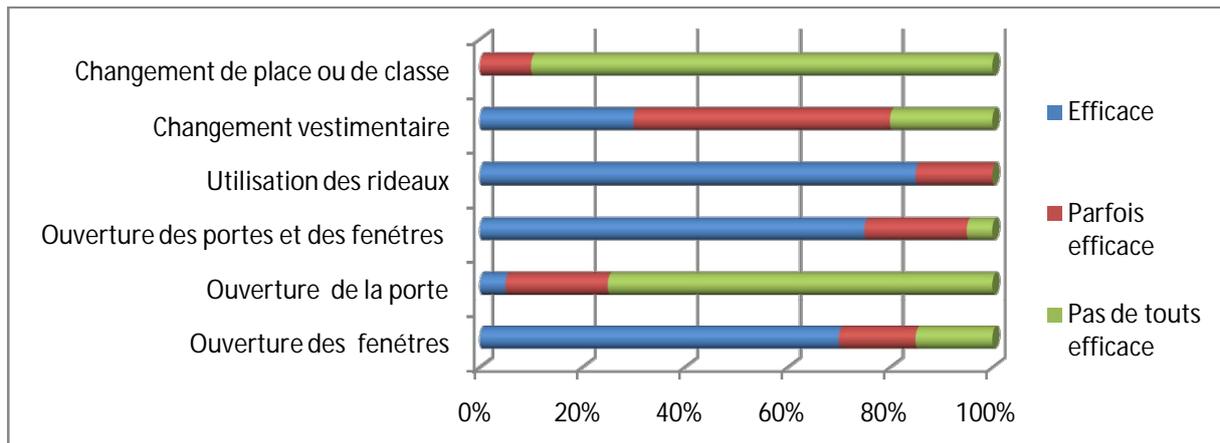


Graph V.38: Les facteurs d'inconfort thermique en été.

En été, les facteurs d'inconfort thermique dans la typologie de plan à corridor central sont presque similaires à ceux de la typologie de plan à coursive. Ils sont respectivement la chaleur pour 55 %, suivie par l'ensoleillement pour 28 % et l'absence d'un mouvement de l'air pour 8%. La température représente donc une variable très importante pour assurer le confort des élèves.

V.2. 2.2.3. Amélioration de l'ambiance thermique

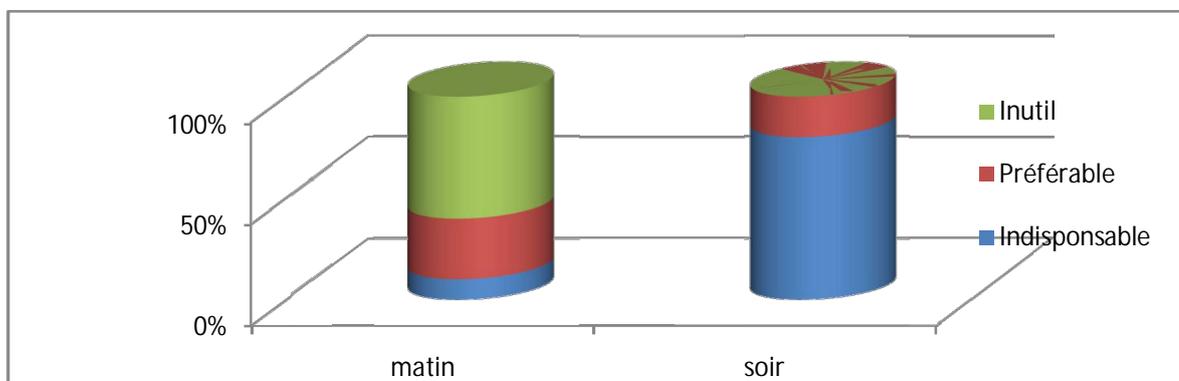
a) Efficacités des actions adaptatives pour améliorer l'ambiance thermique



Graphique V.39: Efficacité des comportements d'adaptation pour améliorer l'ambiance thermique.

Pour améliorer leur confort thermique en été, les occupants jugent que les comportements les plus efficaces sont l'utilisation des rideaux ainsi que l'ouverture des portes et des fenêtres au même temps. La protection contre le rayonnement solaire et la création des courants d'air représentent donc des alternatives très importantes pour assurer le confort. L'ouverture des portes uniquement ainsi que le changement de place ne sont pas de tout efficaces. En outre, le changement vestimentaire n'est que parfois efficace.

b) Nécessité du refroidissement



Graphique V.40: Evaluation de la nécessité de refroidissement.

Pour la matinée, 60% des élèves jugent que le refroidissement est inutile et 30 % le jugent préférable. La nécessité du refroidissement est fortement exprimée pendant l'après-midi avec 80%.

V.2. 2.2.4. Synthèse

L'analyse des résultats de l'enquête dans la typologie de plan à corridor central pendant la période d'été met en évidence que :

- ✚ L'ambiance thermique est qualifiée de légèrement confortable pendant la matinée et inconfortable pendant l'après-midi.
- ✚ Dans les salles orientées au Nord et à l'Est l'ambiance est pratiquement confortable voire légèrement confortable pendant la matinée et inconfortable pendant l'après-midi.
- ✚ Dans les salles orientées au Sud et à l'Ouest, l'ambiance est qualifiée comme légèrement confortable pendant la matinée et inconfortable voire très inconfortable pendant l'après-midi. Les élèves des salles orientées au Nord et à l'Est manifestent donc plus de satisfaction que les élèves des salles orientées au Sud et à l'Ouest.

Les situations d'inconfort sont dues selon les enquêtés en premier lieu à une surchauffe et à un ensoleillement intense, notamment pour l'orientation Ouest.

V.2. 3. Analyse et interprétation des résultats de l'enquête d'hiver

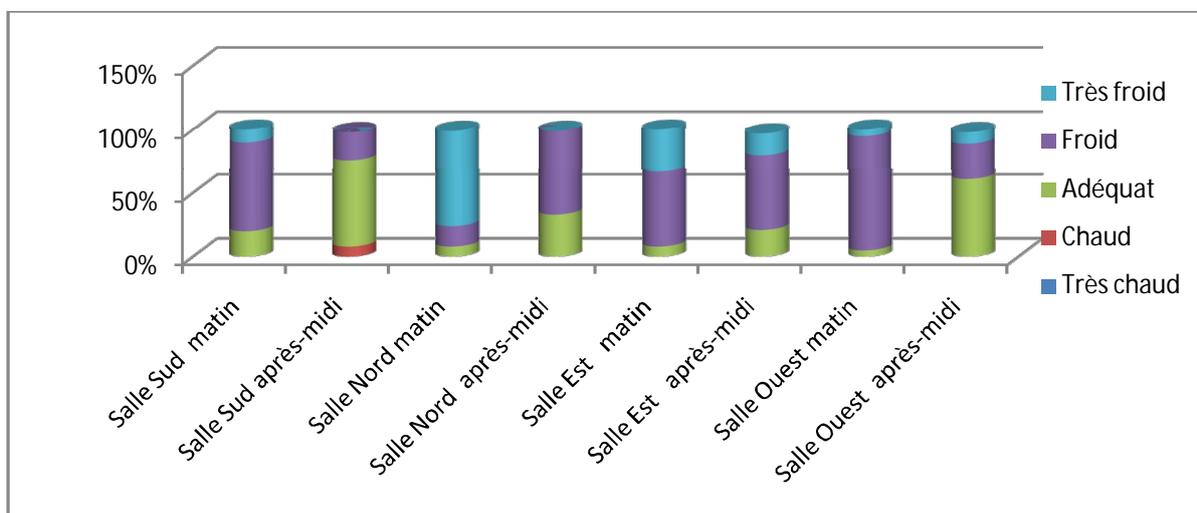
Durant la période hivernale, l'enquête ne s'est effectuée que dans la typologie de plan à corridor central dont le nombre et les caractéristiques de l'échantillon sont présentés dans le 4^{ème} chapitre. En effet, l'objectif du questionnaire est d'évaluer l'ambiance thermique des salles de cours sans éléments d'appoint actifs et dans les conditions habituelles de travail. L'extinction du chauffage pendant que les salles sont occupées n'était pas possible dans la typologie de plan à coursive. Dans la typologie de plan à corridor central, le questionnaire s'est déroulé en même temps que la campagne de mesures qui correspond à la journée dont le chauffage est éteint.

V.2. 3.1. Typologie de plan à corridor central

V.2. 3.1.1 Evaluation des paramètres de l'ambiance thermique

a) Température

✚ Evaluation par les occupants

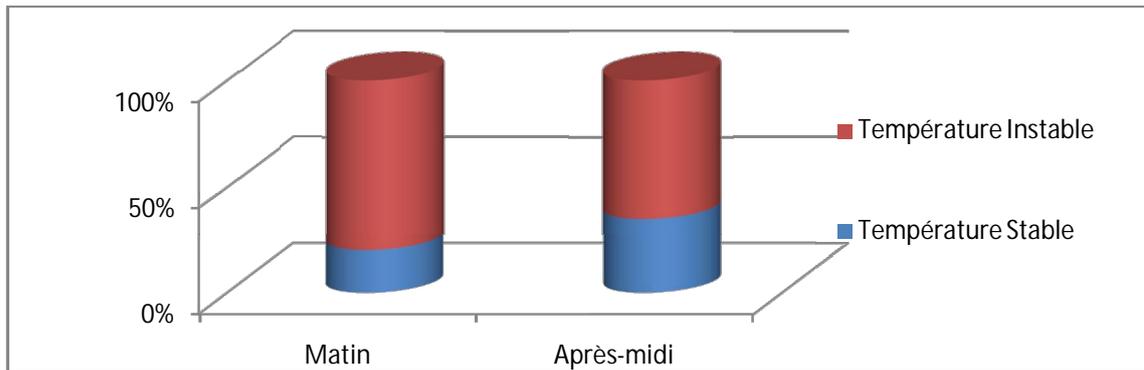


Graphique V.41: Appréciation de la chaleur.

L'ambiance thermique est qualifiée de froide dans les salles orientées au Sud (70%), Est (60%) et Ouest (90%) et très froide dans la salle orientée au Nord (75%).

Pendant l'après-midi, l'ambiance thermique est pratiquement adéquate pour les salles orientées au Sud (68%) et à l'Ouest (61%), tandis qu'elle est restée froide dans les salles orientées au Nord et à l'Est.

📊 Changement de la température

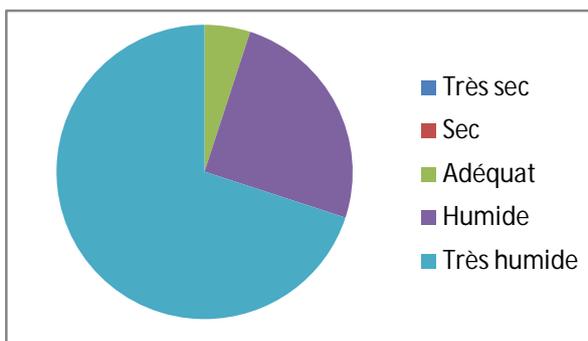


Graphique V.42: Changement de la température.

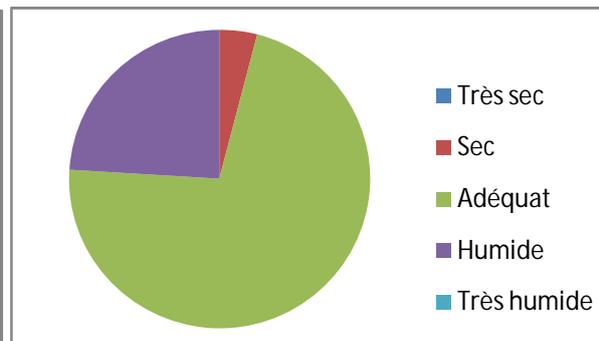
Le changement de la température est aperçu par la plupart en faveur d'une élévation sans atteindre une situation du confort thermique. La température s'élève entre 10h00 et 11h00 pendant la matinée et 14h00 et 15h00 pendant l'après-midi d'après les sujets enquêtés.

b) Humidité de l'air

📊 Evaluation de l'humidité de l'air par les occupants



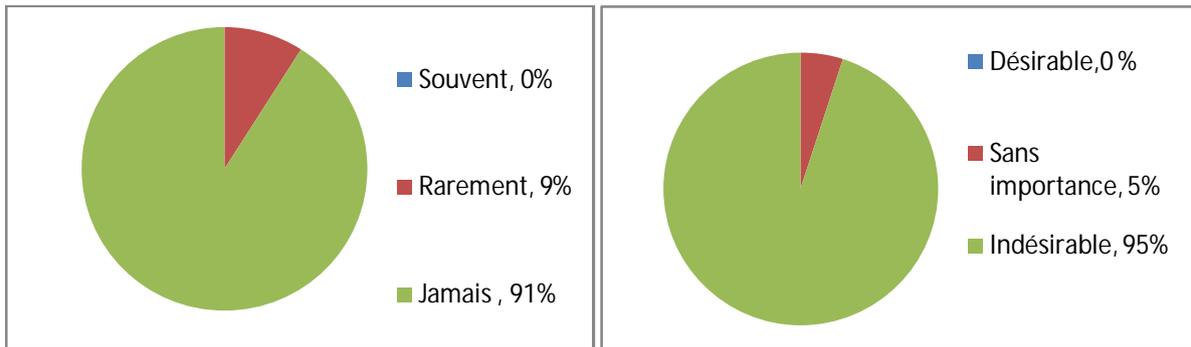
Graphique V.43: Evaluation de l'humidité de l'air pendant la matinée.



Graphique V.44: Evaluation de l'humidité de l'air pendant l'après-midi.

L'air est apprécié très humide pour 70% des élèves dans toutes les salles de cours pendant la matinée, tandis qu'elle est perçue adéquate (72%) pendant l'après-midi. Cela rejoint les résultats de la campagne de mesures où les valeurs de l'humidité sont dans la plupart des cas plus élevées pendant la matinée.

c) Mouvement de l'air



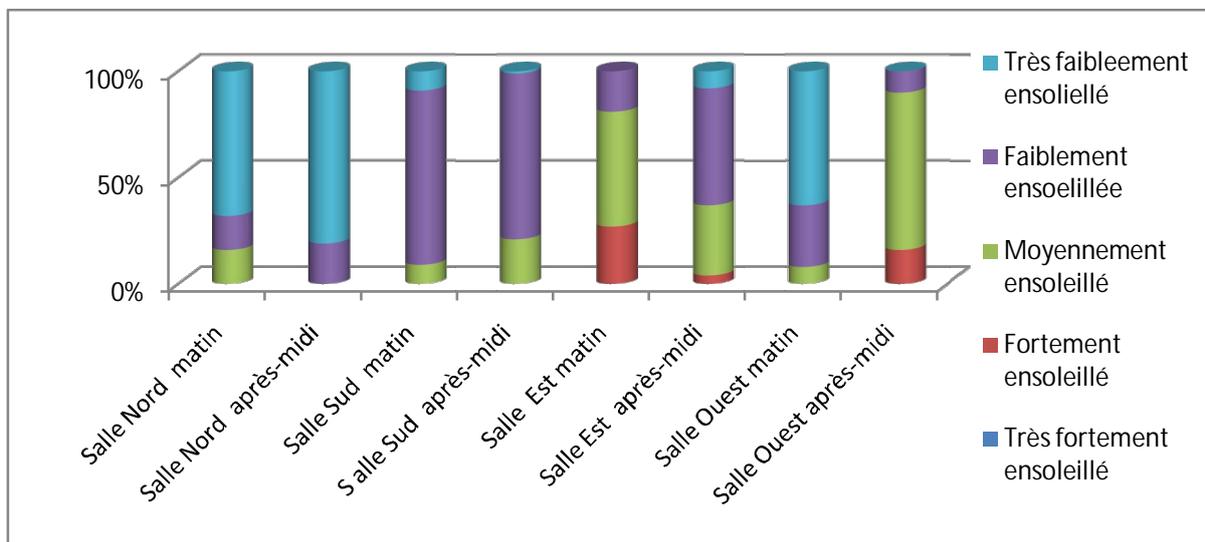
Graph V.45: fréquence d'ouverture des fenêtres.

Graph V.46: Préférences du mouvement d'air.

Il est demandé aux élèves s'ils ouvrent la porte et les fenêtres pendant la période hivernale afin d'évaluer le mouvement de l'air si leur réponse est positive. La quasi-totalité (91%) a répondu qu'elle ne les ouvre pas. Cela peut être dû à l'intention de se protéger des conditions climatiques extérieures. En revanche, durant l'enquête, nous avons remarqué qu'il y avait quelques fenêtres ouvertes. La présence du courant d'air est jugée comme indésirable (95%) pour les quelques personnes qui les ouvrent rarement.

d) Ensoleillement

+ **Evaluation de l'ensoleillement par les occupants**



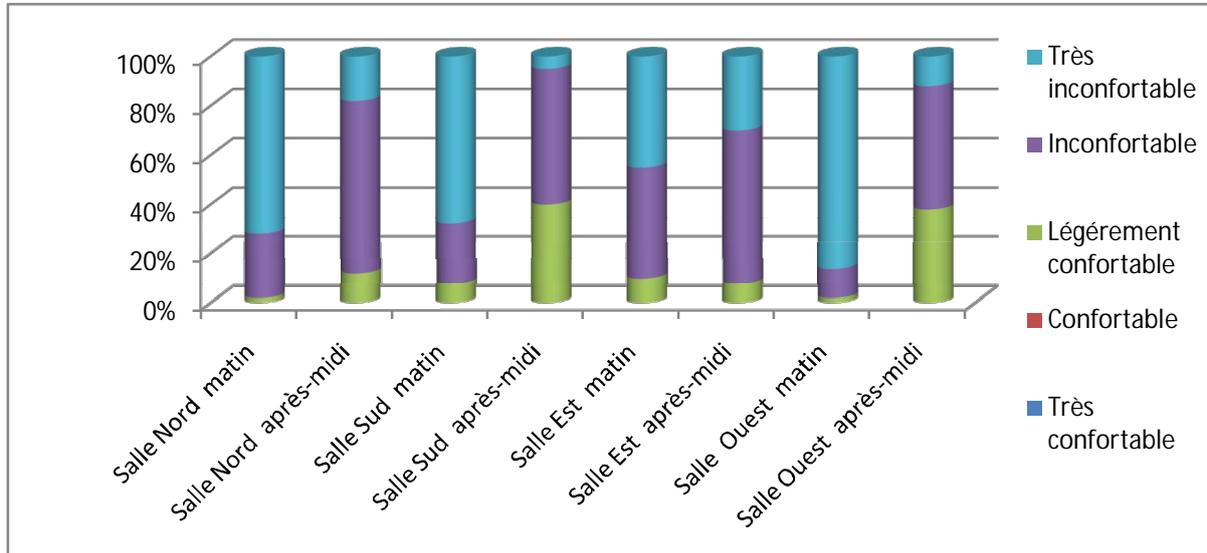
Graph V.47: évaluation de l'ensoleillement.

Pendant la période hivernale, les élèves pensent que la salle orientée au Nord est très faiblement ensoleillée. Celle orientée au Sud est faiblement ensoleillée pendant toute la journée. Les élèves estiment que la salle orientée à l'Est est moyennement ensoleillée (54%) pendant la matinée et faiblement ensoleillée pendant l'après-midi, tandis que la salle orientée

à l'Ouest est très faiblement ensoleillée pendant la matinée (63%) et moyennement ensoleillée pendant l'après-midi (74%).

V.2. 3.1.2. Evaluation du confort thermique

a) Le confort thermique

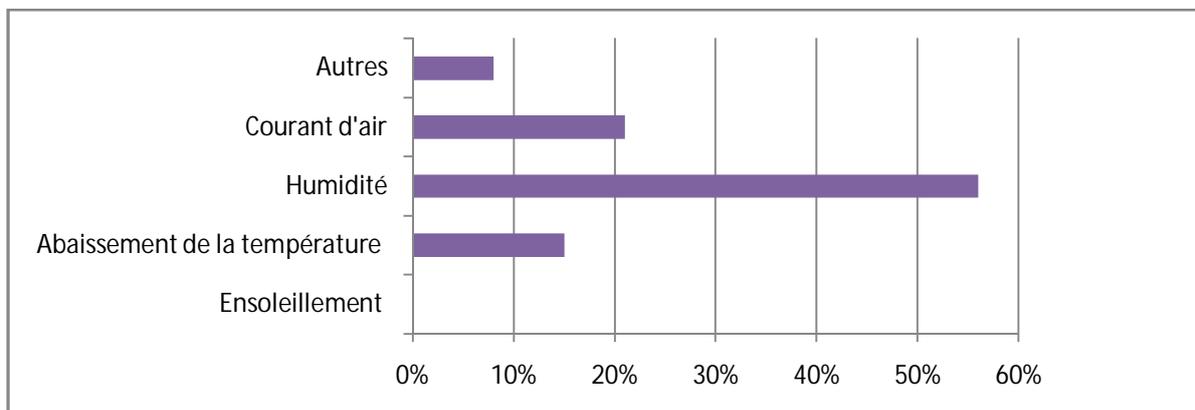


Graphique V.48: Evaluation du confort thermique.

Pendant la matinée, l'ambiance est évaluée d'inconfortable pour les salles orientées Nord (72%), Sud (68%) et Ouest (86%) ; très inconfortable pour la salle orientée au Nord. Pendant l'après-midi, l'ambiance thermique est appréciée comme inconfortable pour les salles à orientations Nord et Est et varie entre inconfortable et légèrement confortable pour les salles à orientations Sud et Ouest.

On retient de cette section que l'ambiance thermique est négativement perçue pendant la matinée dans les quatre orientations. En revanche, elle est mieux perçue, malgré qu'elle n'atteigne pas l'appréciation du confort, pendant l'après-midi notamment dans les salles orientées au Sud et à l'Ouest.

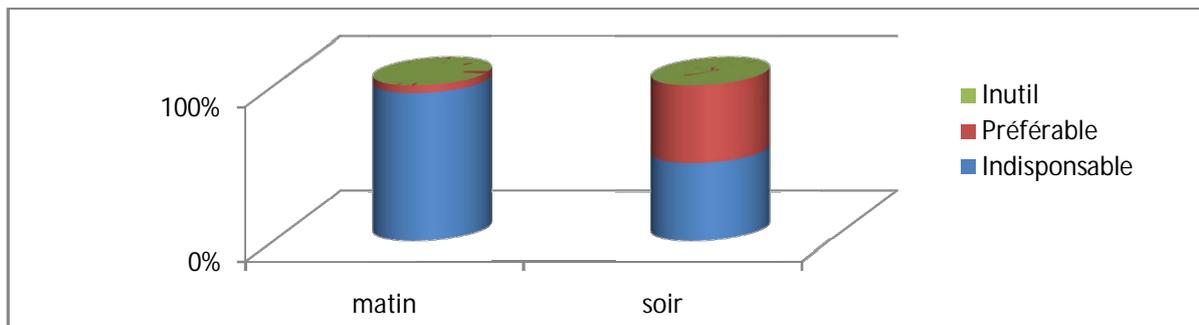
b) Les facteurs d'inconfort thermique



Graphique V.49: Les facteurs d'inconfort thermique.

L'humidité relative de l'air est citée comme étant le premier facteur d'inconfort thermique. Cela peut être expliqué par le fait que les élèves ne trouvent pas d'actions d'adaptation pour l'atténuer contrairement aux autres paramètres. L'abaissement des températures ainsi que les courants d'air sont également des facteurs d'inconfort signalés par les enquêtés.

V.2. 3.1.3. Nécessité du refroidissement



Graphique V.50: Nécessité du chauffage.

Les usagers de toutes les salles de cours enquêtées pensent que, pendant la matinée, le chauffage est indispensable (95%). Pendant l'après-midi, une moitié estime qu'il est préférable et l'autre estime qu'il est indispensable.

V.2. 3.1.4.Synthèse

L'analyse des résultats de l'enquête dans la typologie de plan à corridor central pendant la période hivernale fait ressortir que :

- ✚ Pendant la matinée, l'ambiance thermique est négativement perçue, elle est très inconfortable pour la salle orientée au Nord et inconfortable pour les autres salles. Concernant les paramètres physiques de l'ambiance, les élèves pensent que leur salles sont froides, faiblement voire très faiblement ensoleillées et l'air est qualifié de très humide. Il est à noter que la nécessité du chauffage est fortement exprimée.
- ✚ Pendant l'après-midi, l'ambiance thermique est globalement inconfortable pour les salles à orientations Nord et Est ; légèrement confortable pour les salles à orientations Sud et Ouest. Les paramètres de l'ambiance thermique sont aperçus moins négatifs, sans atteindre des situations de confort, notamment dans les salles orientées au Sud et à l'Ouest. L'humidité relative semble être le facteur le plus défavorable pour le confort thermique en hiver suivie par les courants d'air et l'abaissement de la température.

Conclusion

Dans les conditions du déroulement de la campagne de mesures, il n'y a pas de moyens de chauffage ou de refroidissement assouplissant les conditions thermiques des bâtiments. Leur conception architecturale est le seul moyen pour atteindre le confort.

La quantification des deux paramètres physiques comparés aux plages de confort permet de conclure, qu'en période d'été, les températures des salles restent assez importantes dans les deux typologies et pour les quatre orientations. On assiste à une élévation des températures intérieures au même titre que celles de l'extérieur avec un faible écart dans la plupart du temps. En hiver, les valeurs de température n'atteignent pas le seuil du confort thermique dans la plupart du temps passé dans toutes les salles de cours évaluées. Les valeurs de l'humidité relative se situent dans la zone du confort pendant les deux périodes.

L'analyse des résultats de l'enquête permet de confirmer ceux obtenus dans la campagne de mesures. En été, les élèves estiment que l'ambiance est légèrement confortable pendant la matinée et inconfortable pendant l'après-midi avec des nuances en faveur des salles à orientations Nord et Sud. En hiver, l'ambiance thermique est pratiquement inconfortable pendant la matinée et légèrement confortable pendant l'après-midi. Les salles orientées au Sud et à l'Ouest présentent une ambiance thermique plus modérée pendant l'après-midi que les salles orientées au Nord et à l'Est.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le confort thermique dans le bâtiment est à l'heure actuelle un enjeu majeur, tant pour la qualité des ambiances intérieures, que pour les problématiques énergétiques et environnementales dont il prend une grande part de responsabilité. En effet, le confort occupe une place importante dans la vie moderne, il est devenu plus qu'un besoin social. La recherche à le satisfaire a résulté par une généralisation de l'utilisation des systèmes mécaniques afin de créer et de maintenir les conditions d'ambiances intérieures confortables. Toutefois, cela participe de façon très significative à renforcer le changement climatique engendré par les émissions de gaz à effet de serre. Ces derniers sont produits en grandes quantités par les différentes installations de climatisation dans le bâtiment.

Dans les bâtiments scolaires, le confort thermique prend une grande importance et demeure parmi les facteurs les plus déterminants de la performance des systèmes éducatifs. Plusieurs recherches ont démontré que la procuration d'un environnement thermique de bonne qualité peut aboutir à des résultats positifs sur le rendement scolaire des apprenants et à l'amélioration de leur résultat (Tebbouche H., 2010).

Le droit d'être enseigné dans des locaux dotés d'une meilleure qualité thermique, d'une part, et la nécessité de créer ces conditions en minimisant d'impact sur l'environnement, d'autre part, nous a menés à étudier la qualité environnementale des établissements scolaires. La conclusion constatée sur cette question est amère ; la recherche bibliographique menée sur l'évolution et les caractéristiques des bâtiments scolaires en Algérie fait ressortir que le souci du confort thermique et du respect de l'environnement n'ont connu aucune prise en charge.

En effet, la production des bâtiments scolaires a dû faire face aux besoins importants dus au développement démographique et à la politique de la généralisation de l'enseignement obligatoire et gratuit. Pour répondre à cette grande demande, le ministère de l'éducation nationale s'est engagé dans la standardisation des constructions scolaires en proposant des plans types à construire par tout sur le territoire national ; négligeant de ce fait les caractéristiques climatiques de chaque région. Deux typologies étaient proposées à travers des guides de construction des bâtiments scolaires. Il s'agit de la typologie de plan à coursive et la typologie de plan à corridor central. Ces dernières sont largement reproduites sur le périmètre pris comme cas d'étude et ont fait l'objet de notre investigation sur terrain.

L'étude des caractéristiques architecturales et constructives de chacune de ces typologies conjuguées à l'analyse climatique et bioclimatique de la ville de Tizi-Ouzou

révèlent que le confort thermique et la qualité environnementale ne sont pas pris en compte dans ces bâtiments. De nombreuses défaillances dans la conception, notamment de la typologie de plan à coursive, sont recensées. Cela a confirmé les résultats des enquêtes menées et a porté quelques éléments de réponse à l'inconfort des usagers; ces défaillances se résument en :

- ✚ L'inadéquation de l'orientation de la plupart des salles de cours ;
- ✚ L'absence des protections solaires extérieures et de l'isolation thermique ;
- ✚ La forme étalée, notamment de la typologie de plan à coursive, qui engendre une surface de déperdition thermique importante ;
- ✚ L'inadéquation du pourcentage des surfaces vitrées par rapport aux stratégies bioclimatiques recommandées pour cette zone ainsi que la nature du vitrage (vitrage simple) qui augmente les échanges thermiques entre l'intérieur et l'extérieur;
- ✚ La composition de l'enveloppe qui ne joue pas son rôle protecteur à cause de sa faible inertie thermique.

La problématique du confort thermique dans le bâtiment scolaire est donc l'œuvre d'une conception architecturale non soucieuse du climat. Elle est aussi celle de la négligence de l'aspect qualitatif au préjudice de l'aspect quantitatif.

Sur un autre volet, l'évaluation de l'ambiance thermique des deux typologies s'est appuyée sur une enquête par questionnaire réalisée auprès de la communauté scolaire et des campagnes de mesures des humidités et des températures ambiantes. Les conclusions obtenues ont confirmé les résultats de l'analyse bioclimatique et ont décelé la qualité des facteurs physiques de l'ambiance thermique comme suit :

✚ **Typologie de plan à coursive**

➤ **En été**

- ✚ Pendant la période estivale, on assiste à une élévation des températures intérieures au même titre que celles extérieures avec un faible écart dans la plupart du temps. Les valeurs enregistrées varient entre 24.1°C et 32.1°C. Elles dépassent généralement la limite du confort à partir de 10h00. L'ambiance est inconfortable malgré que la campagne de mesures s'est déroulée vers la fin de la saison chaude dont les températures extérieures sont plus modérées. Ces résultats sont dus à l'importance des apports internes produits par le métabolisme des élèves et aux défaillances dénombrées précédemment qui sont à la source de :

- ✚ La restitution des gains solaires par les parois opaques qui se caractérisent par une faible inertie thermique et qui ne sont pas dotées d'isolants ;
- ✚ Des échanges thermiques importants entre l'intérieur et l'extérieur dus à l'importance des surfaces vitrées qui sont mal orientées dans la plupart des cas et qui ne sont pas dotées de systèmes d'occultations efficaces.

La journée de l'enquête est qualifiée de légèrement confortable pendant la matinée et inconfortable pendant l'après-midi avec la présence des nuances en faveur des salles à orientation Nord/Sud. Les facteurs d'inconfort sont relatifs à la surchauffe suivie par l'ensoleillement et l'absence d'un mouvement de l'air.

➤ **En hiver**

Les valeurs de températures enregistrées pendant une journée non chauffée et sans présence d'élèves n'atteignent pas le seuil du confort thermique, pratiquement, pendant toute la journée. Elles varient entre 14.6 °C et 19.1 °C. Celles enregistrées pendant les premières heures sont très basses à cause de l'absence des apports internes produits par les élèves aux cours des heures précédentes. Les taux d'humidité enregistrés à l'intérieur des salles varient entre 45% et 72%. Elles sont confortables d'après le diagramme psychrométrique de la ville de Tizi-Ouzou.

✚ **Typologie de plan à corridor central**

➤ **En été**

En été, la journée de l'enquête est qualifiée de légèrement confortable pendant la matinée et inconfortable pendant l'après-midi avec des nuances en faveur des salles orientées au Nord et à l'Est. Les températures varient entre 24.6 et 31.6 °C. Elles dépassent dans la plupart du temps la limite de confort thermique à partir de 10 h 00. Par ailleurs, les valeurs de l'humidité relative se situent entre 28 et 71 %. D'après les résultats de l'enquête les valeurs d'humidité sont confortables pendant la matinée, par contre l'air est apprécié de très sec pendant l'après-midi. Tout comme dans la typologie de plan à coursive, les situations d'inconfort sont dues en premier lieu à une surchauffe et à l'ensoleillement intense notamment pour les salles à orientation Ouest.

➤ **En hiver**

L'ambiance thermique est inconfortable pendant la matinée et légèrement confortable pendant l'après-midi. Les salles orientées au Sud et à l'Ouest présentent une ambiance thermique plus modérée pendant l'après-midi que celles orientées au Nord et à l'Est. Les valeurs de températures enregistrées confirment ce constat, elles varient entre 14.1°C et 19.4

°C. Celles enregistrées pendant la matinée connaissent des valeurs très basses et n'atteignent pas le seuil du confort. L'humidité relative est le facteur le plus défavorable pour le confort thermique en hiver d'après l'enquête.

En final, on retient de cette évaluation que les deux typologies d'architectures étudiées présentent des carences en termes d'inconfort thermique durant les deux périodes hivernale et estivale à l'exception des deux premières heures de la matinée en été et les deux dernières de l'après-midi en hiver. Nous signalons que la typologie de plan à corridor central peut offrir des conditions plus modérées du fait qu'elle se caractérise par une conception plus compacte et moins ouverte que la typologies de plan à coursive. Par ailleurs, les résultats de l'enquête confirment l'effet de l'orientation sur l'ambiance thermique dont la prédilection des orientations Nord-Sud comparativement aux orientations Est-Ouest.

Limites et perspectives

Tel qu'évoqué dans la littérature scientifique présentée dans ce mémoire, le confort thermique dépend principalement de quatre facteurs physiques. Deux d'entre eux n'ont pas pu être mesurés à cause du manque d'un matériel approprié. Par ailleurs, l'étude présente une limite par rapport à la comparaison des ambiances thermiques des deux typologies étudiées. Bien qu'elles n'offrent pas toutes les deux des conditions thermiques confortables, l'étude bioclimatique a permis de constater que la typologie de plan à corridor central peut offrir une meilleure ambiance que celle de la typologie de plan à coursive. Chose qui n'a pas pu être vérifiée par une comparaison des deux ambiances. Pareil pour la comparaison des différentes orientations. Faute du temps, un travail de simulation aurait donné un bon appui pour cette comparaison.

Ce travail d'initiation à la recherche n'est qu'une première esquisse, il ne prétend qu'à déclencher la réflexion sur l'ambiance thermique dans le bâtiment scolaire en rapport avec la qualité de l'espace et ses effets sur l'environnement ; il demeure une ébauche qui nécessite d'être complétée ultérieurement. Nos visions futures consistent à effectuer d'autres études, à la quête d'un objectif ultime qui est celui d'aboutir à des solutions bioclimatiques dans la construction et la réhabilitation des bâtiments scolaires en Algérie. Si ce travail s'est limité à l'étude de l'ambiance thermique, nos perspectives visent à étudier son interaction avec les autres types de confort dans l'objectif de proposer des outils d'aide à la conception bioclimatique des bâtiments scolaires.

Références bibliographiques

- Abdelatia B., 2013.** « *Contribution à l'étude du confort visuel en lumière naturelle dans les établissements scolaires en Libye : évaluation qualitative et préconisations* ». Thèse de doctorat soutenue à l'université de Bordeaux.
- Arhab F., 2014.** « *Evaluation du confort thermique dans les établissements scolaires. Etude comparative des ambiances thermiques des salles de cours du plan type des écoles primaires Alger et Biskra* ». Mémoire de magister soutenu à l'école polytechnique d'architecture et d'urbanisme, Alger.
- Arhab F., Djebri B., Saidi. H., 2015.** « *Évaluation du confort thermique dans les établissements scolaires. Évaluation post occupationnelle des ambiances thermiques dans les salles de cours* ». Editions universitaires européennes.
- ASHRAE Fundamentals (American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers), 1997.** « *Non residential cooling and heating load calculations* », éd. SI, Atlanta.
- ASHRAE, 2005.** « *ISO 7730, Ergonomic of the thermal environment-Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD* ».
- Aziza A., 2004.** « *La mesure de l'enfance : Typologie des écoles primaire de la ville de Genève entre 1949 et 1999* ». Thèse de doctorat soutenue à l'école polytechnique fédérale de Lausanne.
- Badeche M., 2008.** « *Impact de la loggia vitrée sur le confort thermique dans la région de Constantine* ». Mémoire de magister soutenu à l'université de Mentouri de Constantine.
- Becker R., Goldberger I., Paciuk M., 2007.** Improving energy performance of school buildings while ensuring indoor air quality ventilation. Revue, « *Building and Environment* », vol. 42, p3261-3276.
- Benhalilou K., 2008.** « *Impact de la végétation grimpante sur le confort hygrothermique estival du bâtiment. Cas du climat semi aride* ». Mémoire de magister soutenu à l'université de Mentouri de Constantine.

- Bouchahm G., 2008.** « *L'impact de l'orientation des parois transparentes sur le confort thermique dans une salle de classe à Constantine* ». Mémoire de magister soutenu à l'université Mentouri de Constantine.
- Cantin R., Moujalled B., Guarracino G., 2005.** « *Complexité du confort thermique dans les bâtiments* ». 6ème congrès Européen de Science des Systèmes. 19-22 septembre 2005. Paris.
- Cao M. L., 2009.** « *Les vrais enjeux d'un projet de construction durable* », éd. L'Harmattan. Paris.
- Carbiener D., 2008.** « *L'habitat durable, construire et rénover écologique et économique* », éd. Edisud, Paris.
- Celismercie S. J., 2009.** « *La température agréable. Manipulation des fenêtres et dynamique du confort environnemental dans une salle de classe climatisée naturellement* ». Thèse de doctorat soutenue à la faculté d'aménagement, d'architecture et des arts visuels de l'université Laval, Canada.
- Chabi M., 2009.** « *Etude bioclimatique du logement social-participatif de la vallée du M'zab : cas du ksar de Tafilelt* ». Mémoire de magister soutenu à l'université de Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- Chabi M., 2012.** Cours de 1^{ère} année post-graduation en architecture à l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- Charbonnier S., Parant C., Pouget A., 1992.** « *Guide de la thermique dans l'habitat neuf, bâtir une stratégie globale* », éd. le Moniteur, Pris.
- Clodic S., 2009.** « *Inciter à améliorer l'efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment à l'aide de la finance carbone. Etat des lieux, barrières et perspectives post-Kyoto* ». Thèse professionnelle du Master soutenue à l'Institut Supérieur d'Ingénierie et Gestion de l'Environnement, école des Mines, Paris.
- CNERIB , 1998 .** « *Règlement thermique des bâtiments d'habitation et règles de calcul des déperditions Calorifiques* ». DTR.C 3-2.Alger.
- CNERIB, 1998.**« *Règles de calcul des apports calorifiques des bâtiments* ». DTR.C 3-4.Alger.

- Cordier N., 2007.** « *Développement et évaluation de stratégies de contrôle de ventilation appliquées aux locaux de grandes dimensions* ». Thèse de doctorat soutenue à l'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon.
- Corinne M., 1999.** « *Travail à la chaleur et confort thermique* ». Les notes scientifiques et techniques de l'INRS, N. 184.
- Da Graça V.A.C, Kowaltowski D. C.C.K, Petreche J.R.D, 2007.** An evaluation method for school building design at the preliminary phase with optimisation of aspects of environmental comfort for the school system of the State São Paulo in Brazil. Revue, « *Building and Environment* », vol. 42, p984-999.
- Derradji L., et al., 2010.** « *Etude expérimentale du comportement thermique d'une maison rurale à faible consommation d'énergie* ». CNERIB, Alger.
- Dimoudi A., Kostarela P., 2009.** Energy monitoring and conservation potential in school buildings in the C' climatic zone of Greece. Revue, « *Renewable Energy* », vol. 34, p 289-296.
- Direction de l'éducation nationale de Tizi-Ouzou, 2014.**
- Endravadan M., 2006.** « *Régulation des systèmes de chauffage et de climatisation basée sur la sensation thermique humaine. Impact sur la consommation d'énergie dans les bâtiments* ». Thèse de doctorat en énergétique soutenue à l'université de Paul Sabatier, Toulouse.
- Fanger P.O., 1972.** « *Thermal Comfort: Analysis and Application in Environmental Engineering* », éd. McGraw, Hill.
- Farrelly L., 2008.** « *Le fondements de l'architecture* », éd. pyramid NTCV, Paris.
- Fernandez P. Lavagne P., 2009.** « *Concevoir des bâtiments bioclimatiques. Fondement et méthodes* », éd. le Moniteur, Paris.
- Fernandez P., 1996.** « *Stratégies d'intégration de la composante énergétique dans la pédagogie du projet d'architecture* ». Thèse de doctorat soutenue à l'Ecole des Mines, Paris.

- Fischer G. N., 1997.** L'évaluation des environnements de travail : approche théorique et méthodes. Revue, « *Psychologie Française* », vol.42, France.
- Foster S. et al., 2004.** « *Politique de l'éducation et innovations. Bulletin CIIP N15* », éd. IRDP, Neuchâtel.
- Genet P., 2007.** « *Développement durable et architecture responsable* », éd. CNOA., France.
- Givoni B., 1978.** « *L'homme, l'architecture et le climat* », éd. le Moniteur, Paris.
- Gustin S., 2008.** « *La Formation Professionnelle, en Algérie : De la colonisation à nos jours* ». Mémoire de master soutenu à l'université Lumière, Lyon.
- Hammou Z., 1996.** « *Architecture musulmane et composante climatique : Approche typomorphologique* ». Mémoire de magister en architecture soutenu à l'université de Constantine.
- Harner D., 1974.** Effects of thermal environment on learning skills. Revue, « *The Educational Facility Planner* », vol.12, p4-6.
- Harvey L.D.D., 2009.** Reducing energy use in the buildings sector: measures, costs, and examples . Revue, « *Energy Efficiency* », vol.16, p 139-163.
- Hauglustaine J.M., Simon F., 2006.** « *La conception globale de l'enveloppe et l'énergie. Guide pratique pour les architectes* ».
- Havenith G. et al., 1998.** Relevance of individual characteristics for human heat stress response is dependent on exercise intensity and climate type. « *European Journal of Applied Physiology* », vol. 77, p231-241.
- Haw M. et al, 2008.** « *Fountains Primary School Post-occupancy Evaluation* ». Paper presented at the PLEA 2008 - 25th Conferences on Passive and Low Energy Architecture, Dublin.
- Hegger M. et al., 2008.** « *Energy manual: sustainable architecture* », éd. Birkhäuser-Detail, Munich.
- Humphreys M., Nicol F., 1998.** « Understanding the Adaptive Approach to Thermal Comfort ». Revue, « *ASHRAE transactions* », vol.104, p 991-1002.

- IPCC Working Group III, United Nations report, 2014.** « *Climate Change 2014, Mitigation of Climate Change* », chapitre 09, building.
- Izard J.-L., 1993.** « *Architectures d'été; construire pour le confort d'été* », éd. EDISUD, Aix-en-Provence.
- Izard J.-L., Guyot A., 1979.** « *Archi bio* », éd. Parenthèses, Marseille.
- Kesraoui N., 2010.** « *Intégration du concept bioclimatique et utilisation rationnelle de l'énergie dans le bâtiment tertiaire en climat méditerranéen -cas de l'Algérie-* ». Mémoire de magister soutenu à l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- Kliment S., 2001.** « *Building type basics for elementary and secondary schools* », éd. John Wiley&Sons, New York.
- Laouni I., 2007.** « *La forme architecturale entre conception et adaptation au contexte physico-climatique des milieux arides et semi-arides. Cas des lycées à Biskra* ». Mémoire de magister soutenu à l'université Mohamed Khider, Biskra.
- Lavigne P., Chatelet A., Fernandez P., 1994.** « *Architecture climatique : Une contribution au développement durable* ». Tome II, éd. EDISUD. Paris
- Liebard A., De Herde A., 2005.** « *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique : Concevoir, édifier et aménager avec le développement durable* », éd. le Moniteur, Paris.
- Mazari M., 2012.** « *Etude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public : Cas du département d'Architecture de Tamda* ». Mémoire de magister soutenu à l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- Mazouz S., 2008.** « *Eléments de conception architecturale* », éd. OPU, 4ème édition.
- MEM, 2014.** « *Bilan énergétique national de l'année 2013* ». MEM, Alger.
- Mémento technique du bâtiment, 2003.** « *Façades* ». Centre d'étude sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques, France.
- Mendler S., Odell W., 2000.** « *The HOK Guidebook to Sustainable design* », éd. Wiley& Sons, New York.

- Meritet S., 2010.** L'état énergétique du monde. Revue, « *Énergies à volonté : vers des ressources propres et renouvelables, dossier pour la science* », vol. 69, p 28-34.
- Ministère de l'éducation nationale et de l'enseignement fondamental, 1982.** « *Guide des constructions scolaires, enseignement fondamentale, 1er et 2ème cycle* ».
- Ministère de l'éducation nationale, 2008.** « *Loi d'orientation sur l'éducation nationale* ». Bulletin officiel de l'éducation nationale, N.08-04.
- Ministère de l'emploi, de la cohésion sociale et du logement Français, 2005.** « *Des bâtiments confortables et performants* ». Document de la Direction générale de l'urbanisme, de l'habitat et de la construction sur la réglementation thermique, France.
- Ministère de l'enseignement primaire et secondaire, 1971.** « *Construction scolaires. Recueils de normes* ».
- Ministère de l'habitat, 1993.** « *Recommandations Architecturales* », éd, ENAG, Alger.
- Montenegro E.E., 2011.** « *Impact de la configuration des bâtiments scolaires sur leur performance lumineuse, thermique et énergétique* ». Thèse de doctorat soutenue à la faculté d'aménagement, d'architecture et des arts visuels de l'université Laval, Canada.
- Moujalled B., 2007.** « *Modélisation dynamique du confort thermique* ». Thèse de doctorat soutenue à l'institut des sciences appliquées de Lyon.
- NEUF, 1978.** Climat intérieur, Confort, Santé, Confort visuel. Revue, « *Européenne d'architecture* », vol.77, p 12-18.
- Nicol F., 1993.** « *Thermal comfort, a handbook for field studies toward an adaptive model* ». Université of East, London.
- Olgay V., 1963.** « *Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism* », éd. University press , U.S.A. Princeton.
- Olgay V., 1963.** « *Arquitectura y clima: Manual de diseno bioclimático para arquitectos y urbanistas* », ed. Gustavo Gili, SL, Barcelona.
- Panerai P.et al., 1980.** « *Eléments d'Analyse Urbaine* », éd. Archives d'Architecture Moderne, Bruxelles.

- Pepler R.D., Warner R.E., 1968.** Temperature and learning: an experimental study. Revue, « *ASHRAE Transactions* », vol. 74, p211-219.
- Perez Y.V., Capeluto I.G., 2009.** Climatic considerations in school building design in the hot- humid climate for reducing energy consumption», Revue, « *Applied Energy*», vol. 86, p 340-348.
- Peuportier B., 2003.** « *Eco-conception des bâtiments. Bâtir en préservant l'environnement*», éd. Presses des Mines, Paris.
- Peuportier B., 2008.** « *Eco-conception des bâtiments et des quartiers* », Presse des Mines, Collection : Sciences de la Terre et de l'Environnement , Paris.
- Peuportier B., Thiers S., 2006.** « *Des éco-techniques à l'éco-conception* ». Actes de journée thématique sur l'efficacité énergétique des bâtiments, tenue à Toulouse le 21 Mars 2006.Paris.
- Richieri F., 2008.** « *Développement et paramétrage de contrôleurs d'ambiance multicritères* ». Thèse de doctorat soutenue à l'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon.
- Rigolon A., 2010.** « *Les plans de construction des écoles européennes du XXIe siècle : présentation* ». Université de Bologne, Italie.
- Rosenlund H., 2000.** Climatic design of buildings using passive techniques. Revue, “*Building Issues*”, vol.10. p 73-82.
- Roulet C. A., 2012.** « *Éco-confort: pour une maison saine et à basse consommation d'énergie* », éd. Presses polytechniques et Universitaires, Romande.
- Roulet C.A., 2008.** « *Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments* », éd. Presse polytechniques et universitaires, Romandes.
- Ruano M., 2007.** « *Un Vitruvio ecológico: principios y prácticas del proyecto arquitectónico sostenible* », éd. Gustavo Gili SL, Barcelona.
- Salomon T., Bedel S., 2004.** « *La maison des [méga] watts, Le guide malin de l'énergie chez soi*», éd. Terre vivante, Mens.

- Sam F., 2012.** « *Réhabilitation thermique d'un local dans une zone aride. Cas de Ghardaïa* ». Mémoire de magister soutenu à l'université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou.
- Semahi S., Djebri B., 2013.** La conception des logements à haute performance énergétique (HPE) en Algérie - Proposition d'un outil d'aide à la conception dans les zones arides et semi-arides. Revue, « *Energies Renouvelables* » vol. 16 N°3
- SBDU (School Buildings and Design Unit), 2002.** « *Schools for the future designs for learning communities, Building Bulletin 95* », éd. The Stationery Office, London.
- Scheyer. F.-X., 2000.** « *L'enquête par questionnaire, des contextes d'usages variables. CCURAP, les méthodes au concret, PUF* ». Ecole National de la Santé Publique, Renne.
- Schneekloth L., Franck K., 1994.** « *Ordering Space: Types in Architecture and Design* », éd. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Sénit, C. A., 2008.** « *L'efficacité Énergétique Dans le Secteur Résidentiel: une Analyse des Politiques des Pays du Sud et de l'est de la Méditerranée* », Iiddri, Idées pour le débat
- Serra, R., Coch H., 2005.** « *Arquitectura y energianatural* », éd. Alfaomega .Grupo, Ciudad de Mexico.
- Sriti L., 2013.** « *Architecture domestique en devenir. Formes, usages et représentations* ». *Le cas de Biskra*. Thèse de doctorat en science en architecture soutenue à l'université de Mohamed khider de Biskra.
- TAREB, 2004.** « *Énergie, confort et bâtiment* ». Cours de Master, London Metropolitan University, London.
- Tebbouche H., 2010.** « *Impact de la qualité environnementale des établissements scolaires sur la performance du système éducatif en Algérie. Cas des lycées de Jijel* ». Mémoire de magister soutenu à l'université de Jijel.
- Thiers S., 2008.** « *Bilans énergétiques et environnementaux de bâtiments à énergie positive* ». Thèse de doctorat soutenue à l'École des mines, Paris.
- Thomas R., 1999.** « *Environmental design: an introduction for architects and engineers* », éd. Taylor and Francis, London.

- Tixier N., 2007.** « *De la notion de confort à la notion d'ambiance* ». Revue du laboratoire cresson de l'école d'architecture de Grenoble et CNRS Ambiances architecturales et urbaines, France.
- UNEP (United Nations Environment Programme), 2009 .** « *Submission of the United Nations Environment Programme (UNEP), Sustainable Building Initiative (SBCI) to the Ad Hoc Working Group on Long-Term Cooperative Action under the Convention (AWG-LCA)* ». ONU, New York.
- UNESCO, 1995.** « *Guide de conception des bâtiments éducatifs* ». Projet 702/MOR/10. Paris.
- Walden R., 2009.** « *Schools for the future: design proposal from architectural psychology* », éd.Heildeberg et Kroning, Hogrefe.
- Weckstein M., Salagnac J.L., 2006.** Changement climatique : un double défi pour le bâtiment . Revue, « *Géosciences* », vol.3.
- Zeiler W., Boxem G., 2009.** Effects of thermal activated building systems in schools on thermal comfort in winter. Revue, « *Building and Environment* », vol. 44, p2308-2317.
- Zermoute R., 2011.** « *Utilisation de l'énergie géothermique de surface pour la climatisation dans le bâtiment* ». Mémoire de magister soutenu à l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

Web bibliographie

- Auzanneau M., 2014.** « *Le pic pétrolier de l'Algérie, et de trois autres nations arabes gâtées par l'or noir* », en ligne (<http://petrole.blog.lemonde.fr/2014/02/28/>), consulté le 20/11/2014.
- BP, 2014.** « *BP Statistical Review of World Energy June 2014* », en ligne, (<http://www.bp.com/statisticalreview>.), consulté le 01/08/201.
- BP, 2011.** « *BpEnergy Outlook 2030.London, January 2011* », en ligne, (<http://www.bp.com>), consulté le 18/07/2014

- CanalBlog ,2013.** « *Chauffage durable et écologique*», en ligne (<http://chauffagedurable.canalblog.com>), consulté le 01/12/2014.
- CDER, 2014.** « *Les émissions du dioxyde de carbone en Algérie* », en ligne (<http://portail.cder.dz/spip.php?article4255>), consulté le 22/11/2014.
- Charbonniaud J., dir., 2014.** « *Le climat n'est pas immuable* », en ligne (<http://webissimo.developpementdurable.gouv.fr>), consulté le 31/10/2014.
- Cheng C. et al., 2008.** « *The Kyoto Protocol, The Clean Development Mechanism and the Building and Construction Sector*», en ligne (<http://www.unep.fr/shared/publications/pdf>), consulté le 12/11/2014.
- DG Trésor, 2014.** « *L'environnement en Algérie, données clefs*», en ligne (www.tresor.economie.gouv.fr/File/397988), consulté le 23/11/2014
- Eco-électrique, et al., 2012.** « *L'efficacité énergétique - levier de la transition énergétique* », en ligne (<http://www.gimelec.fr/Publications-Outils>), consulté le : 11/11/2014.
- Econostrum.info, 2014.** « *Une transition énergétique importée clés en mains est tout simplement inconcevable* », en ligne (<http://www.econostrum.info>), consulté le 21/11/2014.
- EDF, 2013.** « *L'épuisement des ressources* », en ligne (<http://jeunes.edf.com/article/1-epuisement-des-ressources,239>), consulté le 11/07/2014.
- Enerdata, 2014.** « *Tendances de l'efficacité énergétique dans les pays du bassin méditerranéen* », en ligne (<http://medener-indicateurs.net/fr>), consulté le 30/11/2014.
- Euan M , 2014.** « *Global Energy Trends - BP Statistique Review 2014* », en ligne (<http://euanmearns.com/global-energy-trends-bp-statistical-review-2014>), consulté le 14/07/2014.
- Gabanieu J., Galibourg J.-M. et Gauzin-Müller D., 2003.** « *Constructions publiques, architecture et HQE* », en ligne (<http://www.archi.fr/MIQCP/IMG/pdf/g8.pdf>), consulté le 09/06/2014.

- IEA, 2013.** « *World Energy Outlook 2013* », en ligne (http://www.iea.org/newsroomandevents/speeches/131112_weo2013_presentation.pdf), consulté le 22/10/2014.
- IEA, 2014.** « *World energy investment outlook. Special Report* », en ligne, (<http://www.worldenergyoutlook.org>), consulté le 05/08/2014.
- Jacques P., Claude M., 2012.** « *Rapport énergie 2050* », en ligne (www.strategie.gouv.fr), consulté le 09/07/2014.
- Jean-Yves Le Déaut M., Kosciusko-Morizet N., 2006.** « *Rapport N° 3021 de l'Assemblée Nationale Française sur l'effet de serre* », en ligne (<http://www.assemblee-nationale.fr>), consulté le 14/10/2014.
- Ministère de l'Education Nationale Française, 1980.** « *La thermique des groupes scolaires* », en ligne (<http://www.cdu.urbanisme.equipement.gouv.fr/>), consulté le 04/05/2015.
- Ministère de l'éducation nationale, 2014,** en ligne (www.education.gov.dz/), consulté le 29/11/2014.
- Mission interministérielle de l'effet de serre, 2002.** « *Changements climatiques : de la Convention de Rio aux accords de Bonn et Marrakech. Guide explicatif des accords internationaux* », en ligne (<http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosclim1/biblio/RioMarrakech.pdf>), consulté le 31/10/2014.
- Nation Unies, 2012.** « *L'avenir que nous voulons, les villes* », en ligne (<http://www.un.org/fr/sustainablefuture/pdf/cities.pdf>), consulté le 24/08/2014.
- Nations Unies, 1992.** « *Convention-cadre des nations unies sur les changements climatiques* », en ligne (<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convfr.pdf>), consulté le 27/10/2014.
- Perrin E., 2012.** « *La concentration de gaz à effet de serre atteint un nouveau record* », en ligne (<http://www.maxisciences.com>), consulté le 31/10/2014.
- PREBAT, ADEME, PUCA, CSTB, 2007.** « *Comparaison internationale bâtiment et énergie. Rapport final* », en ligne

(<http://rp.urbanisme.equipement.gouv.fr/puca/activites/rapport-comparaison-batiment-energie.pdf>), consulté le : 08/11/2014.

Schneider Electric, 2011. « *Le livre blanc de l'efficacité énergétique* », en ligne (http://ateps.fr/IMG/pdf/livre_blanc_ee.pdf), consulté le : 09/11/2014.

Thomas Net News, 2014. « *The Damage Done in Transportation- Which Energy Source Will Lead to the Greenest Highways*», en ligne (<http://news.thomasnet.com>), consulté le 16/07/2014.

U.S. EIA, 2013. « *International Energy Outlook 2013*»; en ligne (<http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf>), consulté le 09/06/2014.

United Nations, 2014. « *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights*», en ligne (<http://esa.un.org/unpd/wup/Highlights/WUP2014-Highlights.pdf>), consulté le 08/08/2014.

Vedura Copyright, 2014. « *Conséquences du réchauffement climatique* », en ligne : (<http://www.vedura.fr/environnement/climat>), consulté le 23/10/2014.

Wikipédia, 2014. « *BP (entreprise)*, » en ligne ([http://fr.wikipedia.org/wiki/BP_\(entreprise\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/BP_(entreprise))), consulté le 01/08/2014.

Wikipédia, 2014. « *British thermal unit*», en ligne (http://fr.wikipedia.org/wiki/British_thermal_unit), consulté le 09/06/2014.

Wikipédia, 2014. « *Energy Information Administration* », en ligne (http://fr.wikipedia.org/wiki/Energy_Information_Administration), consulté le 11/08/2014.

Wikipédia, 2014. « *Réchauffement climatique* », en ligne (<http://fr.wikipedia.org>), consulté le 31/10/2014.

Liste des illustrations

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : répartition de la consommation mondiale selon les différentes formes d'énergies en 2013..	8
Figure I.2 : la croissance de la consommation énergétique mondiale entre 1988 et 2013	8
Figure I.3 : la consommation énergétique mondiale par secteur en 2012	9
Figure I.4 : perspectives de l'évolution de la demande en énergie finale du secteur du bâtiment dans le monde.	11
Figure I.5 : perspectives de l'évolution de la demande en énergie finale du secteur résidentiel et tertiaire dans le monde	12
Figure I.6 : estimations des réserves des combustibles fossiles selon le ratio R/P de l'année 2013.....	14
Figure I.7 : perspectives de l'évolution des émissions de CO ₂ dans le monde.....	16
Figure I.8 : répartition mondiale des émissions de CO ₂ par secteur de production en 2010	16
Figure I.9 : répartition des émissions de GES du secteur du bâtiment par utilisation finale de l'énergie ..	17
Figure I.10 : estimations des potentiels économiques de réduction d'émissions de GES à l'horizon 2030	20
Figure I.11 : la consommation d'énergie finale par secteur d'activité en Algérie en 2013.....	22
Figure I.12 : la consommation finale par produit et par secteur d'activité.....	23
Figure I.13 : la consommation énergétique par branche en Algérie et dans quelque pays méditerranéens dans le secteur tertiaire	25
Figure I.14 : schéma simplifié d'un chauffage central	26
Figure II.1 : plan d'une école à modèle Prussien	30
Figure II.2 : façade d'un bâtiment scolaire à typologie Heitmatstil	31
Figure II.3 : plan d'un bâtiment scolaire à typologie Heitmatstil	31
Figure II.4 :l'école de plein air de Vidy, Lausanne, 1925.....	32
Figure II.5 :bâtiments scolaires à typologies linéaire (distribution latérale et centrale).....	36
Figure II.6 :exemple de groupement de salles de classes dans le schéma bloc.....	36
Figure II.7 : schéma de synthèse des typologies de bâtiments scolaires à Genève.	37
Figure II.8 : schéma de synthèse des typologies des bâtiments scolaires en Europe.	38
Figure II.9 : configuration spatiale de la typologie « ATHINA » et ses différentes combinaisons.....	39
Figure II.10 : schéma de synthèse des typologies des bâtiments scolaires au Brésil.	40
Figure II.11 : schéma de synthèse des typologies des bâtiments scolaire au Royaume-Uni.	41
Figure II.12 : schéma de synthèse des typologies des bâtiments scolaires au Etats-Unis	42
Figure II.13 : schéma de synthèse des typologies des bâtiments scolaires en Israël.	43
Figure II.14 : typologie de plan à coursive (simple distribution)	49
Figure II.15 : typologie de plan à corridor central (double distribution).).....	50
Figure II.16 : aménagement et dimensions recommandées pour une salle de classe ordinaire.	51
Figure III.1 : les différents modes de transfert de chaleur	56

Figure III.2: répartition des puissances reçus du soleil suivant les orientations des façades.	59
Figure III.3: impact de la forme du bâtiment sur l'importance des surfaces de déperditions thermiques.	61
Figure III.4 : principe du zonage thermique.	62
Figure III.5: les typologies de bâtiments scolaires analysées par Montenegro E. E., (2011).	63
Figure III.6: évolution des températures dans une maison individuelle pour deux niveaux d'inertie.	66
Figure III.7: répartition moyenne des déperditions dans un local.	66
Figure III.8: différents dispositifs de protections extérieures mobiles.	68
Figure III.9: types de protection selon la position par rapport au vitrage.	69
Figure III.10: coefficients d'absorption pour différents matériaux et couleurs.....	70
Figure III.11: évolution des températures due à la présence des élèves dans une salle de cours.	71
Figure III.12 : les échanges thermiques du corps humain avec son environnement.	73
Figure III.13: valeurs exprimées en Clo des tenues vestimentaires en coton.....	77
Figure III.14: principaux comportements d'adaptations observés en milieu réel.	78
Figure III.15: diagramme bioclimatique de Givoni.....	81
Figure. IV.1 : situation de la ville de Tizi-Ouzou.....	84
Figure. IV.2. moyennes de durée d'insolation mensuelle à Tizi-Ouzou de 2001/2010.....	85
Figure. IV.3. températures moyennes mensuelles, au cours de la période de 2004/2013.....	86
Figure. IV.4. valeurs d'humidités au cours de la période de 2004/2013.....	86
Figure. IV.5. vitesses moyennes mensuelles des vents au cours de la période de 2004/02013.....	87
Figure. IV.6 : valeur des précipitations moyennes mensuelles de 2004/2013.	87
Figure. IV.7 : diagramme psychrométrique de la ville de Tizi-Ouzou	89
Figure. IV.8 : diagramme polaire.	93
Figure. IV.9 : photos du lycée Stombouli Rabah.	95
Figure. IV.10 : plan de masse du lycée Stombouli Rabah	96
Figure. IV.11 : photos du lycée Colonel Amirouche.....	96
Figure. IV.12 : plan de masse du lycée Colonel Amirouche.....	97
Figure IV.13 : plan de 1 ^{er} et 2 ^{ème} étages des lycées Colonel Amirouche et Stombouli Rabah	98
Figure. IV.14 : dimensions et aménagement de la salle de cours de la typologie de plan à coursive.	99
Figure IV.15 : photos du CEM Babouche Saïd	100
Figure IV.16 : plan de masse du CEM Babouche Saïd.....	100
Figure IV.17 : photos du CEM Base 07.....	101
Figure IV.18 : plan de masse du CEM Base 07.....	101
Figure IV.19: dimensions et aménagement d'une salle de classe du CEM Babouche Saïd.....	102
Figure IV.20: dimensions et aménagement d'une salle de classe du CEM Base 07.	103

Figure IV.21 : plan de 1 ^{er} étage du CEM Babouche Saïd.	104
Figure IV.22 : plan de 1 ^{er} étage du CEM Base 07.	105
Figure IV.23 : composition du mur extérieur.....	106
Figure IV.24 : chauffage utilisé dans les salles de classe.....	110
Figure IV.25 : vue sur l’abri contenant les instruments de mesures	112
Figure IV.26 : vue sur les appareils pendant l’étalonnage	113
Figure IV.27 : valeurs de températures du matériel utilisé et celui de l’ONM de Tizi-Ouzou.....	113
Figure IV.28 : valeurs d’humidités relatives du matériel utilisé et celui de l’ONM de Tizi-Ouzou.....	114
Figure IV.29 : emplacement de la salle et du point de prise de mesures pour la typologie de plan à coursive	115
Figure IV.30 : emplacement des salles et des points de prise de mesures pour la typologie de plan à corridor central	115
Figure IV.31 : emplacement des points de prise de mesures dans toutes les salles de classe.	116

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II. 1. : typologie d’écoles selon leurs capacités d’accueil	47
Tableau III.1 : chaleur métabolique selon différentes activités.	76
Tableau IV.1 : critères d’étude des bâtiments scolaires.....	93
Tableau IV.2 : synthèse et comparaison des caractéristiques des deux typologies de plan et les recommandations bioclimatiques.	107
Tableau IV.3 : matériel utilisé dans les campagnes de mesures.....	111
Tableau IV.4 : date et durée des campagnes de mesures d’été	115
Tableau IV.5 : dates et durées des campagnes de mesures d’hiver.....	117
Tableau IV.6 : tableau récapitulatif du nombre et des caractéristiques des élèves enquêtés	118

LISTE DES GRAPHIQUES

Graphe : V.1 : variation des températures intérieures et extérieures de la salle orientée Nord/Sud	122
Graphe : V.2 : variation des humidités relatives intérieures et extérieures de la salle orientée Nord/Sud	123
Graphe : V.3 : variation des températures intérieures et extérieures de la salle orientée Est/Ouest	124
Graphe : V.4 : variation des humidités relatives intérieures et extérieures de la salle orientée Est/Ouest	124
Graphe : V.5 : variation des températures intérieures et extérieures des salles orientées au Nord et au Sud.....	125
Graphe : V.6 : variation des humidités relatives intérieures et extérieures des salles orientées au Nord et au Sud.....	126
Graphe : V.7 : variation des températures intérieures et extérieures des salles orientées à l’Est et à l’Ouest.....	126

Graphe : V.8 : variation des humidités relatives intérieures et extérieures des salles orientées à l’Est et à l’Ouest	127
Graphe : V.9 : variation des températures intérieures et extérieures des salles orientées au Nord et au Sud	129
Graphe : V.10 : variation des humidités relatives intérieures et extérieures des salles orientées au Nord et au Sud	129
Graphe : V.11 : variation des températures intérieures et extérieures des salles orientées à l’Est et à l’Ouest.....	130
Graphe : V.12 : variation des humidités relatives intérieures et extérieures des salles orientées à l’Est et à l’Ouest	131
Graphe : V.13 :variation des températures intérieures et extérieures de la salle orientée au Nord/Sud...	131
Graphe : V.14 : variation des humidités relatives intérieures et extérieures de la salle orientée au Nord/Sud	132
Graphe : V.15 : variation des températures intérieures et extérieures de la salle orientée à l’Est/ Ouest.	132
Graphe : V.16 :variation des humidités relatives intérieures et extérieures de la salle orientée à l’Est/Ouest.....	133
Graphe V.17 : appréciation de la chaleur.	134
Graphe V.18 : changement de la température	135
Graphe V.19 : évaluation de l’humidité de l’air	135
Graphe : V.20 : présence du mouvement d’air.	136
Graphe : V.21 : préférences du mouvement d’air.	136
Graphe V.22 : appréciation de la vitesse de l’air.	136
Graphe V.23 : évaluation de l’enseillement.....	137
Graphe V.24 : évaluation du confort thermique	137
Graphe V.25 : les facteurs d’inconfort thermique.	138
Graphe V.26 : efficacité des actions adaptatives pour améliorer l’ambiance thermique.....	138
Graphe V.27 : nécessité du refroidissement	139
Graphe V.28 : appréciation de la chaleur	140
Graphe V.29 : changement de la température.....	141
Graphe V.30 : évaluation de l’humidité de l’air pendant l’après-midi.	141
Graphe V.31 : évaluation de l’humidité de l’air pendant la matinée.	141
Graphe V.32 : présence du mouvement d’air.....	142
Graphe V.33 : préférences du mouvement d’air	142
Graphe V.34 : appréciation de la vitesse de l’air pendant l’après-midi.....	142
Graphe V.35 : appréciation de la vitesse de l’air pendant la matinée.	142
Graphe V.36 : évaluation de l’enseillement.....	143
Graphe V.37 : évaluation du confort thermique.....	143
Graphe V.38 : les facteurs d’inconfort thermique en été.....	145
Graphe V.39 : efficacité des comportements d’adaptation pour améliorer l’ambiance thermique	145
Graphe V.40 : évaluation de la nécessité de refroidissement.....	145

Graphe V.41: appréciation de la chaleur	146
Graphe V.42: changement de la température.....	147
Graphe V.43: évaluation de l'humidité de l'air pendant la matinée.....	147
Graphe V.44: évaluation de l'humidité de l'air pendant l'après-midi.....	147
Graphe V.45: fréquence d'ouverture des fenêtres.....	148
Graphe V.46: préférences du mouvement d'air	148
Graphe V.47: évaluation de l'ensoleillement.....	148
Graphe V.48: évaluation du confort thermique	149
Graphe V.49: les facteurs d'inconfort thermique	149
Graphe V.50: nécessité du chauffage	150

ANNEXES

Annexe : A
Analyse bioclimatique de la ville de Tizi-Ouzou

1/Digramme Bioclimatique

Le digramme bioclimatique permet de déterminer la zone du confort et les stratégies permettant de s'approcher de cette zone. La méthode consiste à présenter les différents mois de l'année par un segment qui représente une journée type du mois. Le point gauche du segment représente le couple, température moyenne minimale (T_{\min}) et humidité relative moyenne maximale (HR_{\max}). Le point de droite représente le couple, température moyenne maximale (T_{\max}) et humidité relative moyenne minimale (HR_{\min}). (Chabi M, 2009).

Le digramme bioclimatique de la ville de Tizi-Ouzou, est fait par le logiciel Ecotect Analysis 2011 en s'appuyant sur la base des données climatiques relevées par l'office national de météorologie de Tizi-Ouzou pour la période (2004 – 2013).

Températures de l'air

Température (C°)	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Temp Moy mensuelle /max(C°)	15.6	15.8	19.2	21.8	25.8	28.1	35.7	35.7	28.3	27.9	18.3	15.1
Temp Moy mensuelle /min(C°)	6.4	5.8	7.98	11.2	14.1	17.8	21.3	21.3	18.4	16	9.85	7.04

Humidités relatives de l'air

Humidité (%)	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Jui	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
HR Moy Mensuelle/max(%)	82	84	83	82	82	79	73	74	77	81	82	81
HR Moy Mensuelle/min(%)	51	46	45	45	42	35	29	30	34	39	47	51

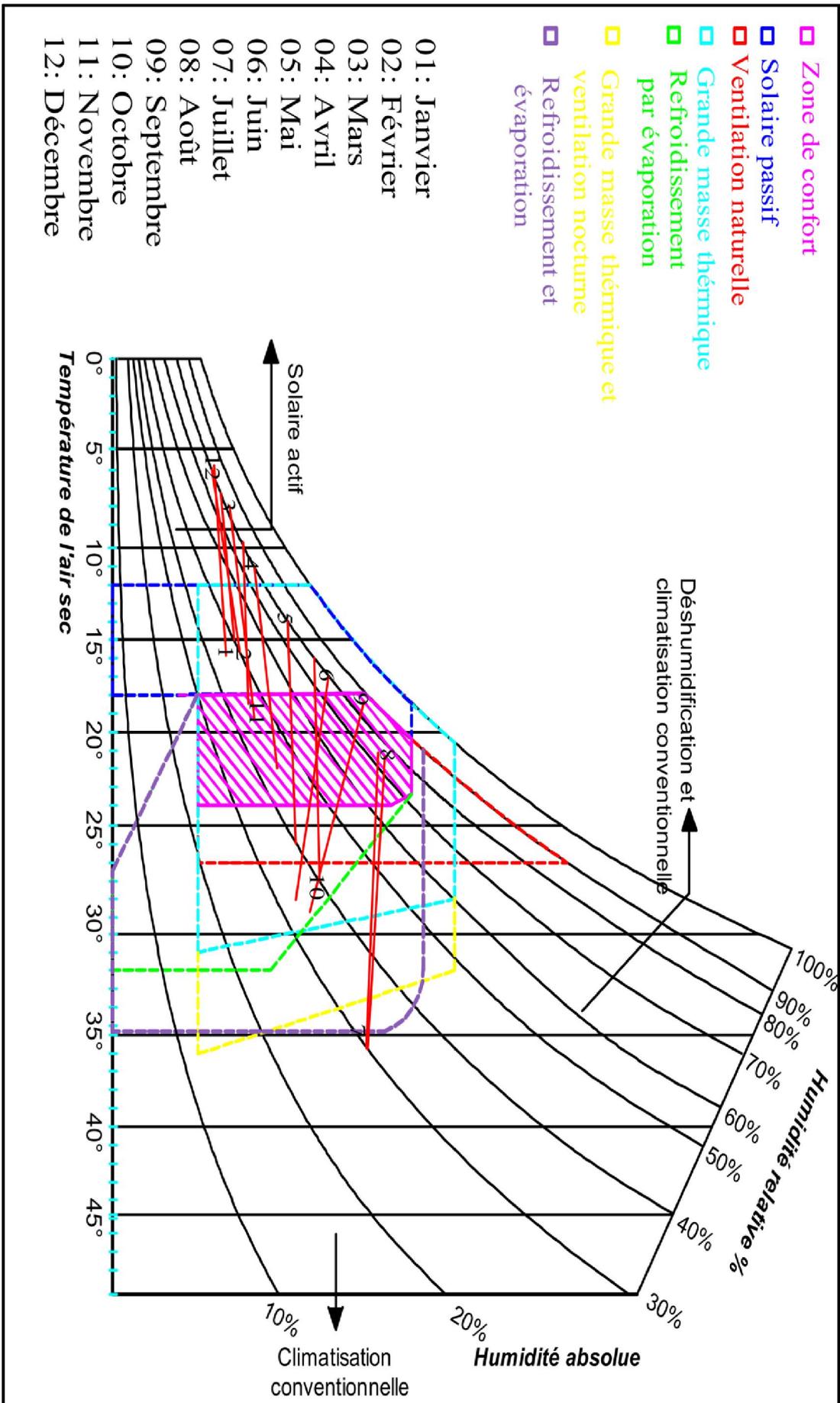


Diagramme bioclimatique de la ville de Tizi-Ouzou

Source : logiciel Ecotect Analysis 2011.

2/Tableaux de Mahoney pour la ville de Tizi-Ouzou

Tableau I: Données géographiques de la ville de Tizi-Ouzou

Localisation	Tizi-Ouzou
Latitude	36°42 N
Longitude	04°03 E
Altitude	188 m

Tableaux II: Données climatiques de la ville de Tizi-Ouzou

I.1. Températures de l'air

Température (C°)	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Temp Moy mensuelle /max(C°)	15.6	15.8	19.2	21.8	25.8	28.1	35.7	35.7	28.3	27.9	18.3	15.1
Temp Moy mensuelle /min(C°)	6.4	5.8	7.98	11.2	14.1	17.8	21.3	21.3	18.4	16	9.85	7.04
L'écart mensuel (C°)	9.2	10	11.22	10.60	11.7	10.3	14.4	14.4	9.9	11.9	8.45	8.06
AMT=(T max+Tmin)/2			Tmax= 35.7					AMT= 20.75				
AMR=Tmax-Tmin			Tmin= 5.8					AMR= 29.9				

II.2.Humidités relatives de l'air

Humidité (%)	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Jui	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
HR Moy Mensuelle/max(%)	82	84	83	82	82	79	73	74	77	81	82	81
HR Moy Mensuelle/min(%)	51	46	45	45	42	35	29	30	34	39	47	51
HR Moy mensuelle(%)	77	72	72	68	67	58	52	54	61	65	72	72
Groupes d'humidité	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	4	4
	Groupes d'humidité								Humidités Relatives			
	1								HR < 30%			
	2								HR : 30-50%			
	3								HR : 50-70%			
	4								HR > 70%			

II.3.Precipitations et vents

	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	Sept	Oct	Nov	Déc
Précipitation (mm)	110.8	58.1	74.9	73.5	60.4	4.8	2.6	4.8	45.9	54.4	152.6	143.7
Vitesse des vents m/s	1.00	1.38	1.80	1.7	1.7	2.14	2.32	1.87	1.42	1.20	1.00	0.95

Tableaux III: Diagnostic

II.1. Limites de confort

Groupes d'humidités	AMT>20°C				AMT>15-20°C				AMT<15°C			
	Confort jour		Confort nuit		Confort jour		Confort nuit		Confort jour		Confort nuit	
	Min	Max										
1	26	34	17	25	23	32	14	23	21	30	12	21
2	25	31	17	24	22	30	14	22	20	27	12	20
3	23	29	17	23	21	28	14	21	19	26	12	19
4	22	27	17	21	20	25	14	20	18	24	12	18

III.2. Diagnostic des températures

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Groupes d'humidités	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	4	4
Temp Moy mensuelle /max (C°)	15.6	15.8	19.2	21.8	25.8	28.1	35.7	35.7	28.3	27.9	18.3	15.1
Confort du jour le plus élevé (C°)	27	27	27	29	29	29	29	29	29	29	27	27
Confort du jour le plus bas (C°)	22	22	22	23	23	23	23	23	23	23	22	22
Stress du jour	C	C	C	C	O	O	H	H	O	O	C	C
Temp Moy mensuelle /min (C°)	6.4	5.8	7.98	11.2	14.1	17.8	21.3	21.3	18.4	16	9.85	7.04
Confort de nuit le plus élevé (C°)	21	21	21	23	23	23	23	23	23	23	21	21
Confort de nuit le plus bas (C°)	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Stress de nuit	C	C	C	C	C	O	O	O	O	C	C	C

Avec : O:Confort C : Froid H : Chaud

III.3. Signification

	Indicateur	Confort thermique		Précipitation	Groupes d'humidité	Ecart mensuel
		Jour	Nuit			
Mouvement d'air essentiel	H1	H			4	
		H			2,3	<10°C
Mouvement d'air désirable	H2				4	
Protection contre les pluies	H3			>200mm		
Capacité thermique	A1				1, 2,3	>10°C
Dormir à l'extérieur	A2		H		1,2	
		H	O		1, 2	>10°C
Protection contre le froid	A3	C				

III.4. Indicateurs

	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Jui	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Total
Humide													00
H1													00
H2	+	+	+								+		05
H3													00
Aride													00
A1				+	+	+	+	+		+			06
A2													00
A3	+	+	+	+							+	+	06

III.5.Total des indicateurs

Indicateur total					
Humide			Aride		
H1	H2	H3	A1	A2	A3
00	05	00	06	00	06

Tableaux IV : Les recommandations

IV.1. Recommandations spécifiques

Indicateurs						Recommandations		
Humide			Aride					
H1	H2	H3	A1	A2	A3			
00	05	00	06	00	06			
						Plan		
			0-10			+	1. orientation Nord-Sud (long de l'axe Est-Ouest)	
			11ou12		5-12			2. Organisation d'une cour intérieure compacte
					0-4			
						Espacement entre les bâtiments		
11 ou 12							3. Espacement ouvert pour la pénétration des brises marines	
2-10							4. Même chose que 3, plus assurer la protection contre les vents	
0 ou 1						+	5. Conception compacte	
						Mouvement de l'air		
3-12						+	6. Pièces alignées du même coté. Mouvement de l'air permanent.	
1 ou 2			0-5		6-12			7. Pièces alignées de part et d'autre. Mouvement de l'air temporaire
0	2-12							
	0 ou 1						8. Pas de mouvement d'air	
						Ouvertures		
			0 ou 1		0		9. Grandes ouvertures 40-80%	
			11ou12		0ou1		10. Ouvertures très petites, 10 à 20%	
N'importe quelle autre condition						+	11. Ouvertures moyennes 20à 40%	
						Murs		
			0-2			+	12. Murs légers, faible inertie	
			3-12					13. Murs intérieurs et extérieurs lourds
						Toitures		
			0-5			+	14. Toits moyennement isolés	
			6-12					15. Toits lourds, 8h de déphasage
						Dormir à l'extérieur		
				2-12			16. Espace pour dormir à l'extérieur est recommandé	
						Protection contre la pluie		
		3-12					17. Nécessité de protection des grosses pluies.	

IV.2. Recommandations de détail

Indicateur						Recommandations	
Humide			Aride				
H1	H2	H3	A1	A2	A3		
	05		06		06		
						Dimensions des ouvertures	
			0ou1		0		1. Grandes, 40-80%
					1-12	+	2. Moyennes, 20-40%
			2-5				
11ou12			7-10				3. Composites 20-35%
			11ou12		0-3		4. Petites ouvertures 15-25%
					4-12	+	5. Ouvertures moyennes 25-40%
						Position des ouvertures	
3-12							6. Ouvertures au N et au S à hauteur d'homme du coté du vent
1-2			0-5				
			6-12			+	7. De même que 6, en ajoutant des ouvertures au niveau des murs intérieurs
0	2-12						
						Protection des ouvertures	
					0-2		8. Exclure le rayonnement solaire
		2-12					9. créer des protections contre la pluie
						Murs et planchers	
			0-2				10. Légers, faible capacité thermique
			3-12			+	11. Lourds, déphasage au-delà de 8heures
						Toitures	
10-12			0-2				12. Légères
			3-12			+	
0-9			0-5				13. Légères et bien isolées
			6-12			+	14. Lourdes : déphasage au-delà de 8heures
						Traitement des Surfaces extérieures	
				1-12			15. Espace extérieur nécessaire pour dormir
			1-12			+	16. Drainage adéquat des eaux pluviales

**Annexe B: Enquête sur les typologies des bâtiments scolaires à
Tizi-Ouzou.**

I/Cahier de bord utilisé lors de la 1^{ère} enquête

Date :

Lycée :

Lieu :

Date de construction :

Date d'ouverture :

I.1. Caractéristiques du CEM ou du Lycée

Capacité d'accueil:

Forme du bloc :

Matériaux de construction :

.....

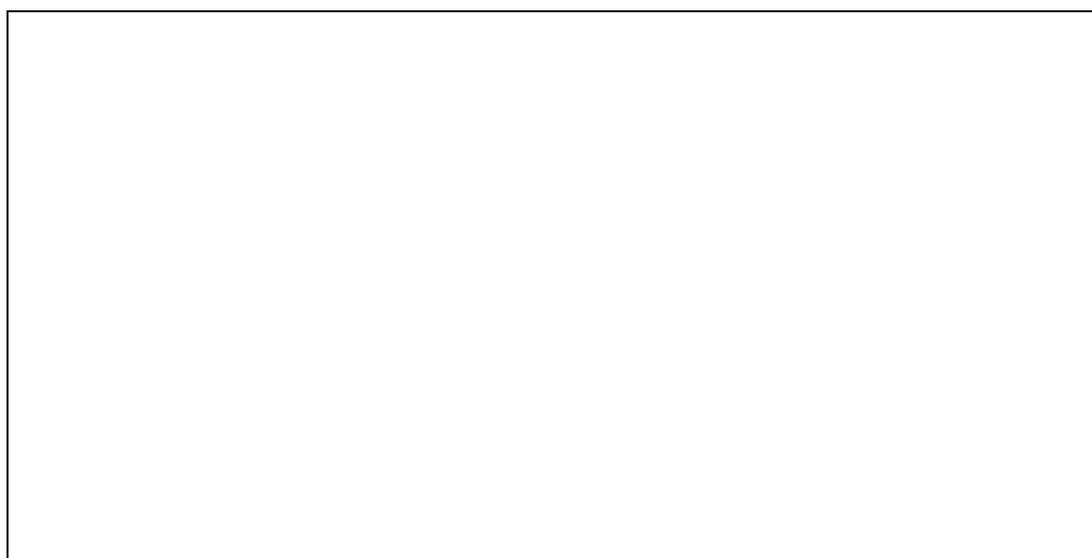
Type de structure porteuse.....

Nombre d'étages :

Organisation spatiale :

.....

Plan schématique de l'établissement



I.2. Caractéristiques des salles de cours:

Forme :

Dimensions approximatives : (L x B x H)

Orientation des salles de cours :.....

Pourcentage et dimensionnement des ouvertures :.....

Plan schématique de la salle de cours:

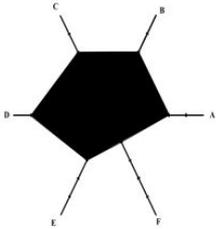
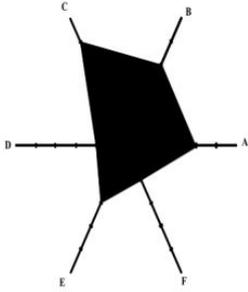
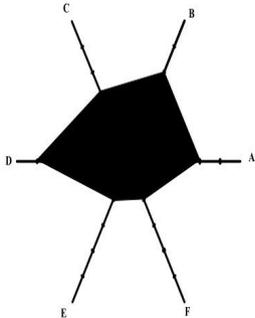
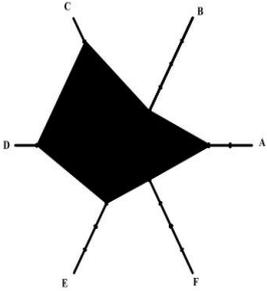


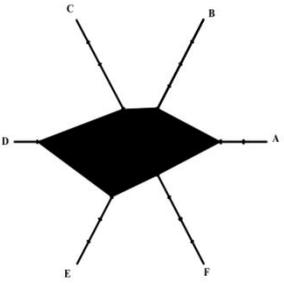
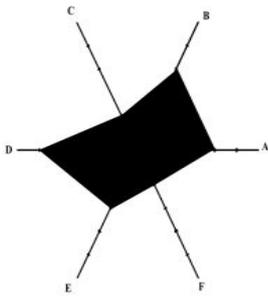
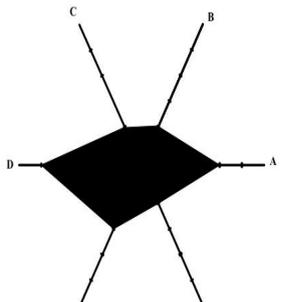
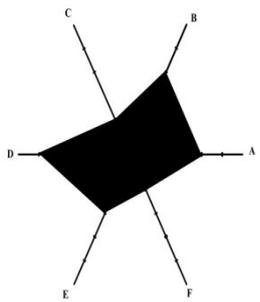
I.3. Autres remarques:

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

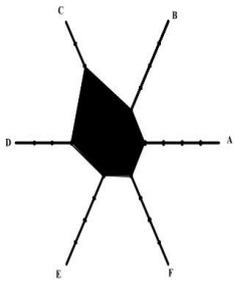
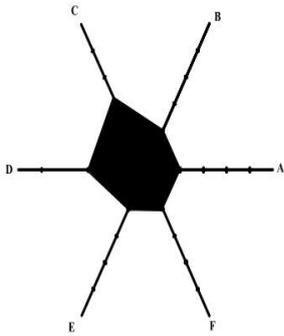
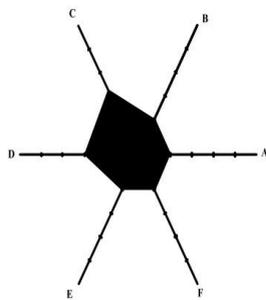
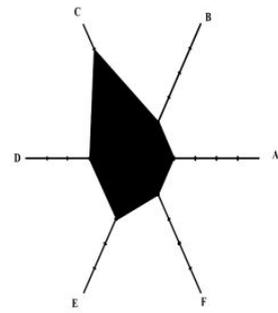
II. Etude des typologies des bâtiments scolaires selon le diagramme polaire

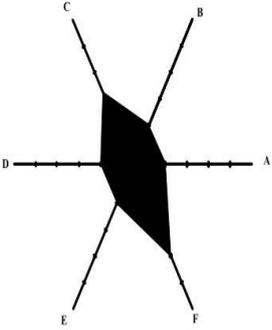
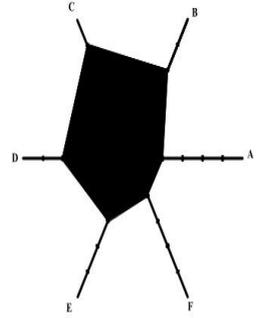
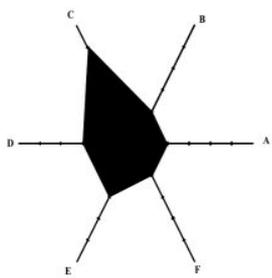
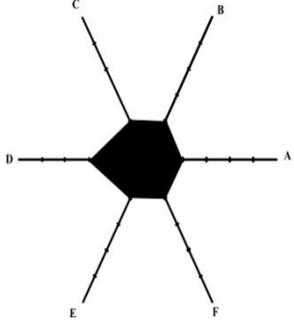
II.1. Typologie de plan à coursive

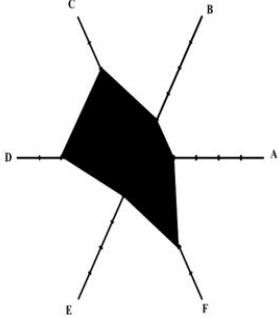
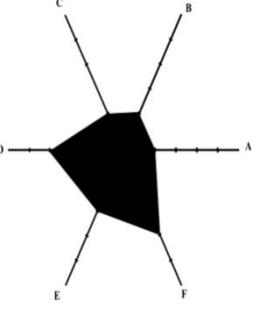
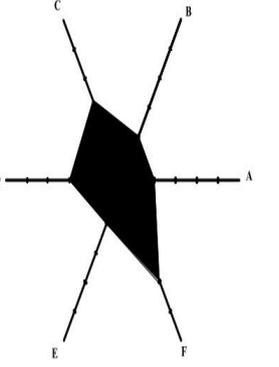
Plan de masse	Image sur terrain	Diagramme polaire
 <p>1/ C.E.M. base 03</p>	 <p>Source : auteur</p>	
 <p>2/Lycée 20 Aout 1956.</p>	 <p>Source : auteur</p>	
 <p>Mouloud Ferraoun</p> <p>3/C.E.M Ihamouténe</p>	 <p>Source : auteur</p>	
 <p>© CEM d'Heliche Mecine (ex BASE 7)</p> <p>4/ C.E.M Héliche Ahcene</p>	 <p>Source : auteur</p>	

 <p>5/ Lycée Stombouli Rabah</p>	 <p>Source : auteur</p>	
 <p>06/ C.E.M Lotfi</p>	 <p>Source : auteur</p>	
 <p>07/ Lycée Colonel Amirouche</p>	 <p>Source : auteur</p>	
 <p>08/ Lycée Fatma N'soumer</p>	 <p>Source : auteur</p>	

II.2. Typologie de plan à corridor central

Plan de masse	Image sur terrain	Diagramme polaire
 <p>1/ C.E.M. Khamésse Ali</p>	 <p>Source : auteur</p>	
 <p>2/ C.E.M. Amyoud Smail</p>	 <p>Source : auteur</p>	
 <p>3/ C.E.M. Babouche Said</p>	 <p>Source : auteur</p>	
 <p>4/ C.E.M. Base 06</p>	 <p>Source : auteur</p>	

 <p>5/ C.E.M Dardar Saïd</p>	 <p>Source : auteur</p>	
 <p>6/ C.E.M Mouloud Feraouf</p>	 <p>Source : auteur</p>	
 <p>7/ C.E.M Base 07.</p>	 <p>Source : auteur</p>	
 <p>8/ Lycée El- Khansa</p>	 <p>Source : auteur</p>	

 <p>9/ Lycée et C.E.M Azib Ahmed</p>	<p>/</p>	
 <p>10/ Lycée AbaneRamdane</p>	 <p>Source : auteur</p>	
 <p>11/ Lycée Technique</p>	<p>/</p>	

Annexe C: Questionnaires de l'enquête

Questionnaire pour la période d'hiver (Version française)

**Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Département d'Architecture**

Chargée du questionnaire :
Melle SADDOK AMEL.
Etudiante en 2^{ème} année post -graduation (magister).
Option : architecture et développement durable

Présentation du questionnaire :

Ce questionnaire fait partie d'une recherche scientifique afin de préparer un mémoire de magister au sein de l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou dont l'objectif est d'étudier le confort thermique dans les bâtiments scolaires. Ainsi, je me permets, de vous demander de bien vouloir remplir le questionnaire, joint. Votre participation est indispensable pour la réussite de ma recherche. Veuillez lire attentivement chaque question et répondre individuellement.

Merci pour votre participation et votre coopération.

Informations sur l'espace d'étude

Nom de l'établissement :

Classe :

Salle N°:

Nombre d'élèves :

Orientation du bloc :

Informations personnelles

Age :

Sexe : Masculin

Feminin

➤ Pendant la matinée

Nous vous demandons de décrire l'ambiance thermique de votre **salle de cours** à travers les points suivants : *(Pour les questions suivantes cochez la case qui correspond à votre opinion).*

1. Température : comment trouvez-vous votre salle de cours pendant la matinée pour cette journée ?

- Très chaude
- Chaude
- Adéquate
- Froide
- Très froide

✚ La température durant la matinée est-elle?

- Stable
- Instable → Le changement de la température est il en faveur d'une augmentation ou d'une diminution ?

.....

✚ A partir de quelle heure vous sentez un changement de température pendant la matinée?

.....

2. Humidité : Comment trouvez-vous l'humidité de l'air pendant la matinée pour cette journée ?

- Très sec
- Sec
- Adéquat
- Humide
- Très humide

3. Mouvement de l'air : ouvrez-vous la porte et les fenêtres ou l'une des deux pendant la période hivernale ?

- Souvent
 Rarement
 Jamais

✚ Sentez-vous un mouvement de l'air quand les portes ou les fenêtres ou l'unes des deux sont ouvertes ?

- Non
 Oui

✚ Comment trouvez-vous ce mouvement d'air ?

- Très fort
 Fort
 Adéquat
 Faible
 Très faible

✚ Ce mouvement d'air est-il ?

- Désirable
 Sans importance
 Indésirable

4. Ensoleillement : Comment trouvez-vous l'ensoleillement de votre salle de cours pendant la matinée ?

- Très fortement ensoleillée
 Fortement ensoleillée
 Adéquat
 Faiblement ensoleillée
 Pas du tout ensoleillée

5. En tenant compte de tous les paramètres (température, humidité, mouvement de l'air, et ensoleillement), comment qualifiez-vous l'environnement thermique global de votre salle de classe pendant la matinée pour cette journée?

- Très confortable
 Confortable
 Ni confortable ni inconfortable
 Inconfortable.
 Très inconfortable.

Quel est le facteur le plus défavorable pour votre confort ?

- Température
 Humidité
 Mouvement d'air
 Autres.....

6. Pour vous, le chauffage dans votre salle de classe pendant la matinée et pour cette journée est-il?

- Indispensable
- Préférable
- Inutile

➤ **Pendant l'après midi**

1. Température : comment trouvez-vous votre salle de cours pendant l'après-midi pour cette journée?

- Très chaude
- Chaude
- Adéquate
- Froide
- Très froide

 **La température durant l'après-midi est-elle?**

- Stable
- Instable → **A partir de quelle heure vous sentez un changement de température?**

.....

2. Humidité : Comment trouvez-vous l'humidité de l'air pendant l'après-midi pour cette journée?

- Très sec
- Sec
- Adéquat
- Humide
- Très humide

3. Ensoleillement : comment trouvez-vous l'ensoleillement de votre salle de cours pendant l'après-midi au cours de la période hivernale?

- Très fortement ensoleillée
- Fortement ensoleillée
- Adéquat
- Faiblement ensoleillée
- Pas du tout ensoleillée

4. En tenant compte de tous les paramètres (température, humidité, mouvement de l'air, et ensoleillement), comment qualifiez-vous l'environnement thermique global de votre salle de classe pendant l'après-midi pour cette journée?

- Très confortable
- Confortable
- Ni confortable ni inconfortable
- Inconfortable.
- Très inconfortable.

} **Quel est le facteur le plus défavorable pour votre confort ?**

- Température
- Humidité
- Mouvement d'air
- Autres.....
-

5. Pour vous, le chauffage dans votre salle de classe pendant l'après-midi pour cette journée est-il?

- Indispensable
- Préférable
- Inutile

6. Quand les conditions thermiques ne sont pas confortables, avez-vous la possibilité d'agir pour améliorer l'ambiance pendant la période froide?

- Non
- Oui



✚ Indiquez pour les actions et les équipements suivants, leur efficacité pour améliorer l'environnement thermique :

Ouvrir, fermer une fenêtre	
Ouvrir, fermer une porte	
Utiliser des protections solaires (rideaux)	
Allumer, éteindre l'éclairage de la pièce	
Apporter un changement à l'habillement	
Changer de place ou de salle	

Autres :

.....

.....

Merci pour votre participation.

Questionnaire pour la période d'été (Version française)

**Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Département d'Architecture**

Chargée du questionnaire :

Melle SADDOK AMEL.

Etudiante en 2^{ème} année post -graduation (magister).

Option : architecture et développement durable

Présentation du questionnaire :

Ce questionnaire fait partie d'une recherche scientifique afin de préparer un mémoire de magister au sein de l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou dont l'objectif est d'étudier le confort thermique dans les bâtiments scolaires. Ainsi, je me permets, de vous demander de bien vouloir remplir le questionnaire, joint. Votre participation est indispensable pour la réussite de ma recherche. Veuillez lire attentivement chaque question et répondre individuellement.

Merci pour votre participation et votre coopération.

Informations sur l'espace d'étude

Etablissement :

Classe :

Salle N°:

Nombre d'élèves :

Orientation du bloc

Informations personnelles

Age :

Sexe : Masculin Féminin**➤ La période de la matinée**

Nous vous demandons de décrire l'ambiance thermique de votre **salle de cours** à travers les points suivants : (Pour les questions suivantes cochez la case qui correspond à votre opinion).

1. Température : comment trouvez-vous votre salle de cours pendant la matinée?

- Très chaude
 Chaude
 Adéquate
 Froide
 Très froide

2. La température durant la matinée est-elle?

- Stable
 Instable → **Le changement de la température est-il en faveur d'une augmentation ou d'une diminution ?**

.....

🌈 A partir de quelle heure vous sentez un changement de température pendant la matinée?

.....

3. Humidité : Comment trouvez-vous l'humidité de l'air pendant la matinée?

- Très sec
 Sec
 Adéquat
 Humide
 Très humide

4. Mouvement de l'air : Ouvrez- vous la porte ou les fenêtres ou les deux pendant la matinée?

- Non
 Oui —————> Sentez-vous un mouvement d'air ?

- Non
 Oui

↓
 🚦 Ce mouvement d'air est-il ?

- Désirable
 Sans importance
 Non désirable

🚦 Comment trouvez-vous ce mouvement d'air ?

- Très fort
 Fort
 Adéquat
 Faible
 Très faible

5. Ensoleillement : Comment trouvez-vous l'ensoleillement de votre salle de cours pendant la matinée ?

- Très fortement ensoleillée
 Fortement ensoleillée
 Adéquat
 Faiblement ensoleillée
 Pas du tout ensoleillée

6. En tenant compte de tous les paramètres (température, humidité, mouvement de l'air, et ensoleillement), comment qualifiez-vous l'environnement thermique global de votre salle de classe pendant la matinée ?

- Très confortable
 Confortable
 Ni confortable ni inconfortable
 Inconfortable.
 Très inconfortable.

Quel est le facteur le plus défavorable pour votre confort ?

- | |
|--|
| <input type="checkbox"/> Température
<input type="checkbox"/> Humidité
<input type="checkbox"/> Mouvement d'air
<input type="checkbox"/> Autres.....
..... |
|--|

7. Considérez-vous le refroidissement dans votre salle de classe pendant la matinée est ?

- Indispensable
 Préférable
 Inutile

➤ La période de l'après midi**1. Température : comment trouvez-vous votre salle de cours pendant l'après-midi ?**

- Très chaude
 Chaude
 Adéquate
 Froide
 Très froide

🚦 La température durant l'après-midi est-elle?

- Stable
 Instable ———→ **A partir de quelle heure vous sentez un changement de température?**

.....

2. Humidité : Comment trouvez-vous l'humidité de l'air pendant l'après-midi?

- Très sec
 Sec
 Adéquat
 Humide
 Très humide

3. Mouvement d'air : Comment trouvez-vous le mouvement de l'air quand la porte ou les fenêtres ou l'une des deux sont ouvertes pendant l'après-midi ?

- Très fort
 Fort
 Moyen
 Faible
 Très faible

4. Ensoleillement : comment trouvez-vous l'ensoleillement de votre salle de cours pendant l'après-midi?

- Très fortement ensoleillée
 Fortement ensoleillée
 Adéquat
 Faiblement ensoleillée
 Pas du tout ensoleillée

5. En tenant compte de tous les paramètres (température, humidité, mouvement de l'air, et ensoleillement), comment qualifiez-vous l'environnement thermique global de votre salle de classe pendant l'après-midi ?

- Très confortable
- Confortable
- Ni confortable ni inconfortable
- Inconfortable.
- Très inconfortable.



Quel est le facteur le plus défavorable pour votre confort ?

<input type="checkbox"/> Température <input type="checkbox"/> Humidité <input type="checkbox"/> Mouvement d'air <input type="checkbox"/> Autres.....

6. Considérez-vous que le refroidissement dans votre salle de classe pendant l'après-midi est?

- Indispensable
- Préférable
- Inutile

7. Quand les conditions thermiques ne sont pas confortables, avez-vous la possibilité d'agir pour améliorer l'ambiance pendant la période chaude?

- Non
- Oui



Indiquez pour les actions et les équipements suivants leur degré d'efficacité pour améliorer l'environnement thermique :

Ouvrir, fermer une fenêtre	
Ouvrir, fermer une porte	
contrôler les protections solaires (rideaux)	
Allumer, éteindre l'éclairage de la pièce	
Apporter un changement à l'habillement	
Changer de place ou de salle	

Autres :.....

Merci pour votre participation.

Questionnaire pour la période d'hiver (Version Arabe)

إستبيان فصل الشتاء

جامعة مولود معمري تيزي وزو

كلية الهندسة المعمارية

الأنسة: صدوق أمال

طالبة السنة الثانية بعد التدرج (ماجستير)

فرع : الهندسة المعمارية والتنمية المستدامة

تقديم الاستبيان

في إطار تحضيرنا لرسالة الماجستير في الهندسة المعمارية, فرع الهندسة المعمارية والتنمية المستدامة, في جامعة مولود معمري في تيزي وزو حول موضوع الراحة الحرارية في المباني المدرسية, يشرفنا أن نحظى بتعاونكم معنا بملء هذه الاستمارة و الإجابة على الأسئلة المقدمة, مشاركتكم أمر ضروري في سياق بحثنا. نحيطكم علما أن أجوبتكم تستعمل فقط لغرض البحث العلمي لا غير.

معنا تقبلوا الشكر الجزيل لتعاونكم

معلومات عامة

اسم المؤسسة:

القسم:

رقم قاعة القسم:

عدد التلاميذ:

معلومات عامة عن التلميذ(ة)

السن:

الجنس: ذكر أنثى ❖ الفترة الصباحية

نطلب منك أن تصف لنا الجو الحراري لقسمك خلال هذا اليوم من خلال النقاط التالية. (ضع علامة + في الخانة التي

(توافق اختيارك)

1) درجة الحرارة: كيف تجد الجو الحراري داخل القسم في الفترة الصباحية لهذا اليوم بالذات؟

بارد جدا بارد معتدل حار حار جدا

في رأيك هل درجة الحرارة ثابتة طيلة الفترة الصباحية داخل القسم لهذا اليوم بالذات؟

ثابتة غير ثابتة 

في رأيك هل درجة الحرارة ترتفع أو تنخفض؟

انطلاقاً من أي ساعة تشعر بتغير درجة الحرارة في الفترة الصباحية داخل القسم لهذا اليوم بالذات؟

2) ما رأيك في درجة رطوبة الهواء داخل القسم في الفترة الصباحية داخل القسم لهذا اليوم بالذات؟

جاف جدا جاف مناسب رطب رطب جدا

(3) هل تفتح عادة نوافذ أو باب القسم في الفترة الصباحية؟

أبدا

من حين إلى آخر

دائما



هل ينتج عن ذلك حركة (تيار) هوائي؟

لا

نعم



كيف تجد حركة هذا الهواء؟

قوية جدا

قوية

متوسطة

ضعيفة

ضعيفة جدا

هل تواجد هذا الهواء بالنسبة إليك؟

مرغوب

بدون أهمية

غير مرغوب

(4) كيف تعتبر التعرض لأشعة الشمس لقسمكم في الفترة الصباحية؟

ضعيف جدا

ضعيف

مناسب

مشمس

مشمس جدا

(5) ما رأيك في الجو الحراري بشكل عام بأخذ الاعتبار لجميع العوامل (حركة الهواء، الرطوبة، ودرجة الحرارة) في الفترة الصباحية داخل القسم لهذا اليوم بالذات؟

حركة الهواء	<input type="checkbox"/>
الرطوبة	<input type="checkbox"/>
درجة الحرارة	<input type="checkbox"/>
أشعة الشمس	<input type="checkbox"/>
أخرى.....	<input type="checkbox"/>
.....	

ما هو أسوأ عامل لراحتك الحرارية في الفترة الصباحية؟

مريحة جدا

مريحة

لا مريحة و لا غير مريحة

غير مريحة

غير مريحة جدا

(6) هل تعتقد أن التدفئة في قسمكم في الفترة الصباحية داخل القسم لهذا اليوم بالذات؟

ضرورية

مرغوبة

بدون أهمية

❖ الفترة المسائية

نطلب منك أن تصف لنا الجو الحراري لقسمك من خلال النقاط التالية. (ضع علامة + في الخانة التي توافق اختيارك)

(1) درجة الحرارة: كيف تجد الجو الحراري داخل القسم في الفترة المسائية لهذا اليوم بالذات؟

- بارد جدا
 بارد
 معتدل
 حار
 حار جدا

في رأيك هل درجة الحرارة ثابتة طيلة الفترة المسائية لهذا اليوم بالذات؟

- ثابتة
 غير ثابتة

انطلاقاً من أي ساعة تشعر بتغير درجة الحرارة في الفترة المسائية لهذا اليوم بالذات؟

(2) ما رأيك في درجة رطوبة الهواء بصفة عامة داخل القسم في الفترة المسائية لهذا اليوم بالذات؟

- جاف جدا
 جاف
 مناسب
 رطب
 رطب جدا

(3) كيف تعتبر التعرض لأشعة الشمس لقسمك في الفترة المسائية؟

- ضعيف جدا
 ضعيف
 مناسب
 مشمس
 مشمس جدا

(4) ما رأيك في الجو الحراري بشكل عام بأخذ الاعتبار لجميع العوامل (حركة الهواء، الرطوبة، و درجة الحرارة) في الفترة المسائية

لهذا اليوم بالذات؟

<input type="checkbox"/>	حركة الهواء
<input type="checkbox"/>	الرطوبة.
<input type="checkbox"/>	درجة الحرارة
<input type="checkbox"/>	أشعة الشمس
<input type="checkbox"/>	أخرى.....
<input type="checkbox"/>

ما هو أسوأ عامل لراحتك الحرارية في الفترة المسائية؟

- مريحة جدا
 مريحة.
 لا مريحة و لا غير مريحة
 غير مريحة
 غير مريحة جدا

(5) هل تعتقد أن التدفئة في قسمك في الفترة المسائية لهذا اليوم بالذات؟

- ضرورية
 مرغوبة
 بدون أهمية

6) عندما يكون الجو الحراري غير مريح في فصل الشتاء هل لديكم إمكانية لتحسينه؟

لا

نعم



بين درجة فعاليته ما يلي لتحسين الجو الحراري:

	فتح، غلق النافذة
	فتح، غلق الباب
	استخدام الستائر
	شعل أو إطفاء ضوء القاعة
	إجراء تغيير في الملابس
	تغيير المكان أو القسم

أخرى.....
.....
.....

تقبلوا الشكر الجزيل لتعاونكم معنا

Questionnaire pour la période d'été (Version Arabe)

إستبيان فصل الصيف

جامعة مولود معمري تيزي وزو

كلية الهندسة المعمارية

الأنسة: صدوق أمال

طالبة السنة الثالثة بعد التدرج (ماجستير)

فرع : الهندسة المعمارية والتنمية المستدامة

تقديم الاستبيان

في إطار تحضيرنا لرسالة الماجستير في الهندسة المعمارية, فرع الهندسة المعمارية والتنمية المستدامة, بجامعة مولود معمري في تيزي وزو حول موضوع الراحة الحرارية في المباني المدرسية, يشرفنا أن نحظى بتعاونكم معنا بملء هذه الاستمارة و الإجابة على الأسئلة المقدمة، مشاركتكم أمر ضروري في سياق بحثنا. نحيطكم علما أن أجوبتكم تستعمل فقط لغرض البحث العلمي لا غير.

تقبلوا الشكر الجزيل لتعاونكم معنا

معلومات عامة عن قاعة القسم:

اسم المؤسسة:

القسم:

رقم قاعة القسم:

عدد التلاميذ:

معلومات عامة عن التلميذ(ة)

السن:

الجنس: ذكر أنثى**❖ الفترة الصباحية**

نطلب منك أن تصف لنا الجو الحراري لقسمك من خلال النقاط التالية. (ضع علامة + في الخانة التي توافق اختيارك)

(1) درجة الحرارة: كيف تجد الجو الحراري داخل القسم في الفترة الصباحية؟ حار جدا حار معتدل بارد بارد جدا(2) في رأيك هل درجة الحرارة ثابتة طيلة الفترة الصباحية؟ ثابتة غير ثابتة

..... في رأيك هل درجة الحرارة ترتفع أو تنخفض؟

..... انطلاقا من أي ساعة تشعر بتغير درجة الحرارة في الفترة الصباحية؟

.....

(3) ما رأيك في درجة رطوبة الهواء بصفة عامة داخل القسم في الفترة الصباحية؟ جاف جدا جاف مناسب رطب رطب جدا

4 هل تفتح عادة نوافذ أو باب القسم في الفترة الصباحية؟

لا

نعم

هل ينتج عن ذلك حركة (تيار) هوائي؟

لا

نعم

هل توجد هذا التيار الهوائي بالنسبة إليك

مرغوب

بدون أهمية

غير مرغوب

كيف تجد حركة الهواء داخل القسم في الفترة الصباحية (بعد فتح الأبواب و النوافذ)؟

قوية جدا

قوية

متوسط

ضعيفة

ضعيفة جدا

5 كيف تعتبر التعرض لأشعة الشمس لقسمكم في الفترة الصباحية؟

مشمس جدا

مشمس

مناسب

ضعيف

ضعيف جدا

6 ما رأيك في الجو الحراري بشكل عام بأخذ الاعتبار لجميع العوامل (حركة الهواء، الرطوبة، و درجة الحرارة) في الفترة الصباحية؟

مريحة جدا

مريحة

لا مريحة و لا غير مريحة

غير مريحة

غير مريحة جدا

<input type="checkbox"/>	حركة الهواء
<input type="checkbox"/>	الرطوبة.
<input type="checkbox"/>	درجة الحرارة
<input type="checkbox"/>	أشعة الشمس
<input type="checkbox"/>	أخرى.....
<input type="checkbox"/>

ما هو أسوأ عامل لراحتك الحرارية في الفترة الصباحية؟

7 هل تعتقد أن التبريد داخل القسم في الفترة الصباحية؟

ضروري

مرغوب

بدون أهمية

❖ الفترة المسائية

(1) درجة الحرارة: كيف تجد الجو الحراري داخل القسم في الفترة المسائية؟

- حار جدا
 حار
 معتدل
 بارد
 بارد جدا

في رأيك هل درجة الحرارة ثابتة طيلة الفترة المسائية؟

- ثابتة
 غير ثابتة

انطلاقاً من أي ساعة تشعر بتغير درجة الحرارة في الفترة المسائية؟

(2) ما رأيك في درجة رطوبة الهواء بصفة عامة في داخل القسم في الفترة المسائية؟

- جاف جدا
 جاف
 مناسب
 رطب
 رطب جدا

(3) كيف تجد حركة الهواء داخل القسم في الفترة المسائية (بعد فتح الأبواب و النوافذ)؟

- قوية جدا
 قوية
 متوسط
 ضعيفة
 ضعيفة جدا

(4) كيف تعتبر التعرض لأشعة الشمس لقسمكم في الفترة المسائية؟

- مشمس جدا
 مشمس
 مناسب
 ضعيف
 ضعيف جدا

(5) ما رأيك في الجو الحراري بشكل عام بأخذ الاعتبار لجميع العوامل (حركة الهواء، الرطوبة، و درجة الحرارة) في الفترة المسائية؟

<input type="checkbox"/>	حركة الهواء
<input type="checkbox"/>	الرطوبة.
<input type="checkbox"/>	درجة الحرارة
<input type="checkbox"/>	أشعة الشمس
<input type="checkbox"/>	أخرى.....
<input type="checkbox"/>

ما هو أسوأ عامل لراحتك الحرارية في الفترة المسائية؟

- مريحة جدا
 مريحة.
 لا مريحة و لا غير مريحة
 غير مريحة
 غير مريحة جدا

6) هل تعتقد أن التبريد داخل القسم في الفترة المسائية؟

ضروري

مرغوب

بدون أهمية

7) عندما يكون الجو الحراري غير مريح في فصل الصيف هل لديكم إمكانية لتحسينه؟

لا

نعم ← بين درجة فعاليته ما يلي لتحسين الجو الحراري:

	فتح, غلق النافذة
	فتح, غلق الباب
	استخدام الستائر
	شعل أو إطفاء ضوء القاعة
	إجراء تغيير في الملابس
	تغيير المكان أو القسم

أخرى.....

تقبلوا الشكر الجزيل لتعاونكم معنا