

Université Mohamed Khider – Biskra  
Faculté des Sciences et de la technologie  
Département : Architecture  
Ref :.....



جامعة محمد خيضر بسكرة  
كلية العلوم و التكنولوجيا  
قسم: الهندسة المعمارية  
المرجع:.....

Mémoire présenté en vue de l'obtention  
Du diplôme de  
**Magistère en architecture**

**Option :**  
**Architecture, formes, ambiances et développement durable**

Forme architecturale et confort hygrothermique dans les bâtiments  
éducatifs, cas des infrastructures d'enseignement supérieur en régions  
arides

Présenté par :  
**M<sup>elle</sup> LABRECHE Samia**

Soutenu publiquement le .....

**Devant le jury composé de :**

Pr ZEMMOURI Nourddine  
Pr MAZOUZ Said  
Pr NACEUR Farida  
Pr MOUMI Abdelhafid

Professeur  
Professeur  
Professeur  
Professeur

Président  
Rapporteur  
Examineur  
Examineur

Université de Biskra  
Université de Biskra  
Université de Batna  
Université de Biskra

## *Dédicace*

*A ma tendresse ... mon soleil ... ma confiance*

*A toi ... ma chère maman*

*A mon enseignant ... mon soutien ... ma force*

*A toi ... mon cher papa*

*A mes bougies ... mes amies ... lis de mon printemps*

*A vous ... mes chères sœurs*

*Aux brins de lumière ... A tous qui ont laissé une  
empreinte de joie dans ma voie*

## **Remerciement**

*Tout d'abord, je remercie le bon Dieu le tout puissant pour son aide et pour m'avoir guidé pour mener à bien ce travail.*

*J'adresse particulièrement mes plus sincères remerciements à monsieur Pr Mazouz Saïd pour avoir dirigé ce travail. Je le remercie pour son encadrement, son expérience, son disponibilité, son aide, son soutien, et ses conseils précieux et avisés tout au long de ce travail.*

*Je suis très reconnaissante à monsieur Pr Zemmouri Nourddine de l'université de Biskra, pour avoir accepté de juger ce travail ainsi de m'avoir fait l'honneur de présider le jury de soutenance.*

*J'exprime ma sincère gratitude à Madame Dr Naceur Farida de l'université de Batna et à Monsieur Dr Moumi Abdelhafidh de l'université de Biskra pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail en acceptant de l'évaluer.*

*A toute l'équipe pédagogique qui a participé à ma formation de graduation et de post-graduation, également pour tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin lors de l'élaboration de ce travail.*

*Je tiens à remercier mes collègues de la promotion de post-graduation 2009 avec qui j'ai passé de bons moments. Ainsi, mes chaleureux remerciements pour les adorables Wiam, Lamia et Houda qui ont gravé leurs traces brillantes dans ma mémoire.*

## Résumé :

Avec les préoccupations grandissantes du développement durable, le secteur du bâtiment doit répondre à deux exigences fondamentales : maîtriser à la fois les impacts sur l'environnement extérieur, et s'assurer des ambiances intérieures saines et confortables pour les occupants.

Dans les bâtiments éducatifs qui représentent une catégorie d'équipements, qui révèle une importance clé, vu le rôle que joue l'éducation dans le développement des individus et des sociétés, un environnement confortable et adéquat à l'éducation doit être assuré.

Le confort hygrothermique est l'une des principales caractéristiques qui contribuent à la création d'un environnement propice à l'éducation. Il doit être pris en considération en raison des influences négatives d'un environnement thermique insuffisant sur la performance d'apprendre.

La qualité du confort hygrothermique doit être prise en compte lors des phases initiales de la conception.

La présente étude vise principalement à évaluer et mesurer l'impact de la forme architecturale des bâtiments d'enseignement, dans les universités, sur le confort hygrothermique des étudiants sous un climat aride et participe, à la fois, à améliorer la performance d'apprendre et à limiter voir éviter le recours à des solutions actives du conditionnement gros consommateurs d'énergie. Elle tend aussi à déterminer à la fin, parmi les formes les plus récurrentes des bâtiments d'enseignement, celles jugées comme plus performantes en matière de réponse aux exigences du confort hygrothermique pour les étudiants sous les conditions d'un climat chaud et sec.

Dans le but d'atteindre ces objectifs, l'étude est basée sur la méthode expérimentale à travers la technique de simulation via le logiciel Ecotect<sup>®</sup> version 2011, et la méthode d'enquête à travers la technique du questionnaire auto-administré. Ces deux techniques permettent d'évaluer les deux aspects du confort hygrothermique, quantitatif et qualitatif, dans les salles de classe des blocs d'enseignement (blocs de TD) de l'université de Biskra choisie comme cas d'étude.

**Les mots clés :** forme architecturale, confort hygrothermiques, bâtiments éducatifs

## المخلص:

مع تزايد انشغالات التنمية المستدامة فإن قطاع البناء ملزم بالإجابة على انشغالين أساسيين : التحكم في الأثر على المحيط الخارجي و تأمين أجواء داخلية صحية و مريحة للمستعملين.

في المباني التعليمية التي تعكس أهمية كبر نظرا للدور الذي يلعبه التعليم بالنسبة للأفراد و المجتمعات، لا بد من توفر محيط مريح و ملائم للوظيفة التعليمية.

تعتبر الرفاهية الحرارية الرطوبة من بين أهم العوامل التي تساهم في خلق محيط تعليمي ملائم لذا و جب أخذها بعين الاعتبار نظرا للأثر السلبي الذي ينجم عن محيط حراري غير ملائم و غير مرضي على النتائج التعليمية.

من خلال هذا البحث، نهدف أساسا إلى تقييم تأثير الشكل المعماري للمباني التعليمية للجامعات على الرفاهية الحرارية الرطوبة للطلبة، الشيء الذي يساهم في تحسين المستوى الدراسي و تقليل اللجوء إلى استعمال أجهزة التكييف التي تعتبر من أكبر مستهلكات الطاقة. كما نحول الوصول إلى استنتاج الشكل المعماري الأكثر استجابة لشروط الرفاهية الحرارية الرطوبة في مناخ جاف من بين الأشكال الأكثر انتشارا للمباني التعليمية.

لتحقيق هذا الهدف، ارتكزت هذه الدراسة على منهجين أساسيين : الأول تجريبي من خلال تطبيق تقنية المحاكاة بالاعتماد على برنامج® ECOTECT أما الثاني فيرتكز على تقنية الاستجواب.

تساعد هاتين التقنيتين على تقييم مظهري الرفاهية الحرارية الرطوبة الكمي و النوعي في قاعات الدراسة لجامعة بسكرة التي وقع عليها اختيارنا كعين دراسة.

**الكلمات المفتاحية :** الشكل المعماري، الرفاهية الحرارية الرطوبة، المباني التعليمية

## **Summary:**

With the growing concerns of sustainable development, the sector of the building must answer two fundamental requirements: to control the environmental impacts external, and to make sure of healthy and comfortable interior environments for the occupants.

In the educational buildings which represent a category of equipment, which reveals a key importance, considering the role that education plays in the development of the individuals and the companies, a comfortable and adequate environment for education must be assured.

Hygrothermic comfort is one of the main features which contribute to the creation of an environment favourable for education. It must be taken into account because of the negative influences of an insufficient thermal environment on the performance to learn.

The quality of hygrothermic comfort must be taken into account at the time of the initial phases of the design.

The present study mainly aims to evaluate and measure the impact of the architectural shape of the buildings of teaching, in the universities, on the hygrothermic comfort under an arid climate and takes part, at the same time, to improve the performance to learn and to limit to see avoiding the recourse to active solutions of conditioning consumers of energy. It also tends to determine at the end, among the recurring shapes of the buildings of teaching, those judged like more powerful as regards answer to the requirements of hygrothermic comfort for the students under the conditions of a hot and dry climate.

With an aim of achieving these goals, the study is based on the experimental method through the technique of simulation via the software Ecotect@ version 2011, and the method of investigation through the technique of the questionnaire. These two techniques enable to evaluate the two aspects of hygrothermic comfort (quantitative and qualitative), in the classrooms of the blocks of teaching (blocks of TD) of the university of Biskra chosen like case of study.

**Key words:** architectural form, comfort hygrothermic, buildings educational

## Sommaire :

*Dédicace*

*Remerciement*

Résumés .....	I
Sommaire .....	IV
Liste des figures .....	XIII
Liste des tableaux .....	XXII

### ***Introduction générale***

Introduction .....	1
Problématique .....	2
Objectifs et hypothèses .....	4
Structure générale du travail .....	5

### ***Chapitre I : Forme architecturale***

Introduction .....	6
I.1 La Forme architecturale : Définitions .....	7
I.2 Différentes approches de la forme architecturale .....	7
I.2.1 La forme suit la fonction .....	7
I.2.2 La forme au champ du formalisme.....	8
I.2.3 La forme est en rapport avec son contexte .....	8
I.2.4 La forme prend corps dans la matière .....	9
I.2.5 La forme résultat d'une pensée .....	10
I.2.6 La forme comme structuration de l'espace .....	10
I.2.7 Synthèse.....	11
I.3 Processus de production de la forme architecturale.....	11
I.4 La forme et la sémantique .....	12
I.5 Facteurs influençant la production de la forme architecturale.....	13
I.5.1 L'environnement physique.....	13
I.5.2 L'environnement technique.....	15
I.5.3 L'environnement socio-culturel .....	16
I.5.4 L'environnement historique .....	17

I.5.5 Les sources internes du concepteur .....	17
I.5.6 Synthèse.....	18
I.6 Classifications typologiques des formes architecturales.....	18
I.6.1 Première classification (Ching, 1979).....	19
I.6.2 Deuxième classification (Martinssen, 1976).....	24
I.6.3 Troisième classification (Krier, 1988).....	25
I.6.4 Quatrième classification (Ibrahim, 1998) .....	28
I.6 Conclusion .....	30
 <b><i>Chapitre II : Confort hygrothermique</i></b>	
Introduction .....	31
II.1 Généralités sur la notion du confort hygrothermique .....	32
II.1.1 Confort thermique .....	32
II.1.2 Confort hygrothermique.....	32
II.2 Facteurs qui influencent le confort hygrothermique.....	33
II.2.1 Facteurs liés à l'individu .....	33
II.2.1.1 Le métabolisme et l'activité .....	33
II.2.1.1 Le métabolisme et l'activité .....	33
II.2.2 Facteurs liés à l'environnement .....	34
II.2.2.1 Température de l'air .....	34
II.2.2.2 Température des parois .....	34
II.2.2.3 Humidité relative de l'air .....	35
II.2.2.4 Vitesse de l'air .....	36
II.3 Inconfort thermique local .....	36
II.3.1 Effet du gradient thermique de l'air .....	36
II.3.2 Effet de l'asymétrie d'un rayonnement thermique .....	37
II.3.3 Effet de la température du sol .....	38
II.3.4 Effet des courants d'air .....	38
II.4 Interdisciplinarité du confort thermique .....	39
II.4.1 L'aspect physiologique : la thermorégulation.....	39
II.4.2 L'aspect physique : les échanges de chaleur.....	40
II.4.2.1 L'échange par conduction .....	40
II.4.2.2 L'échange par convection .....	41

II.4.2.3 L'échange par rayonnement .....	41
II.4.2.4 L'échange par évaporation .....	41
II.4.3 L'aspect psychologique .....	42
II.5 Evaluation du confort thermique .....	43
II.5.1 Outils d'évaluation du confort thermique (et hygrothermique) .....	43
II.5.1.1 Indices thermiques .....	43
II.5.1.2 Méthodes d'analyse bioclimatique .....	48
II.5.2 Echelles d'évaluation du confort thermique .....	51
II.6 L'évaluation post occupationnelle « POE » .....	52
II.7 Les approches du confort thermique .....	54
II.7.1 L'approche analytique .....	54
II.7.2 L'approche adaptative .....	55
Conclusion .....	58
<b><i>Chapitre III : Forme architecturale et performances thermiques</i></b>	
Introduction .....	59
III.1 Morphologie du bâtiment .....	60
III.1.1 La compacité .....	60
III.1.2 Surfaces exposées au rayonnement solaire .....	61
III.1.3 Hauteur du plafond .....	62
III.2 Orientation du bâtiment .....	63
III.2.1 Définitions .....	63
III.2.2 Orientation / Ensoleillement .....	64
III.2.2.1 Effet de l'orientation des parois sur l'intensité du rayonnement solaire reçu .....	64
III.2.2.2 Effet de l'orientation sur les températures des parois extérieures et de l'ambiance intérieure .....	67
III.2.2.3 Effet de l'orientation des parois vitrées sur les températures intérieures .....	67
III.2.3 Effet de l'orientation des ouvertures sur la ventilation .....	69
III.3 La surface et la distribution des ouvertures .....	69
III.3.1 L'ouverture : une composante à usages multiples et contradictoires .....	69
III.3.2 Critères conditionnant la conception des ouvertures .....	71
III.3.3 Lorsqu'un flux solaire frappe une surface vitrée .....	72
III.3.4 Paramètres qui influencent le bilan thermique d'une ouverture .....	72

III.3.4.1 Par l'architecture du bâtiment .....	72
III.3.4.2 Par les détails architecturaux .....	75
III.3.5 Ouvertures et contrôle solaire .....	76
III.4 Protections solaires.....	76
III.4.1 Définitions .....	76
III.4.2 Fonctions principales des dispositifs de protection solaire .....	77
III.4.3 Les différents types de protections solaires .....	78
III.4.3.1 Les protections liées à l'environnement .....	78
III.4.3.2 Les éléments architecturaux.....	78
III.4.3.3 Les vitrages protecteurs .....	78
III.4.3.4 Les dispositifs de brise-soleil.....	79
III.4.4 Classifications des dispositifs de protection solaire .....	79
III.4.4.1 Par rapport à la position des dispositifs de protection solaire.....	79
III.4.4.2 Par rapport à la mobilité des dispositifs de protection solaire .....	81
III.4.5 Données relatives à la détermination de la performance des protections solaires.....	83
III.4.6 Typologie des principaux effets architecturaux d'ombrage .....	84
III.4.6.1 Pour les parois verticales .....	84
III.4.6.2 Pour les parois horizontales .....	85
III.4.7 Synthèse .....	85
III.5 Forme et matériaux.....	86
III.5.1 Transferts de chaleur d'une paroi .....	86
III.5.1.1 Conduction .....	86
III.5.1.2 Convection .....	86
III.5.1.3 Rayonnement .....	87
III.5.2 Caractériser un matériau .....	87
III.5.2.1 Conductivité thermique .....	87
III.5.2.2 Résistance thermique .....	88
III.5.3 Stockage et restitution de chaleur .....	88
III.5.3.1 Capacité thermique .....	88
III.5.3.2 Effusivité.....	88
III.5.3.3 Diffusivité .....	89
III.5.4 Propriétés et performances thermiques d'une paroi .....	90
III.5.4.1 Isolation thermique .....	90

III.5.4.2 Inertie thermique .....	90
III.5.4.3 Absorption .....	91
III.5.5 Comportement thermique des parois .....	91
III.5.5.1 Parois opaques .....	91
III.5.5.2 Parois transparentes .....	92
Conclusion.....	93

### ***Chapitre IV : Bâtiments éducatifs***

Introduction .....	94
IV.1 Quelques définitions .....	95
IV.1.1 Education .....	95
IV.1.2 Enseignement .....	96
IV.1.3 Enseignement supérieur .....	96
IV.1.4 Université .....	97
IV.1.5 Les bâtiments éducatifs .....	98
IV.1.6 La salle de classe .....	98
IV.2 L'influence de l'environnement physique des bâtiments éducatifs sur les capacités d'apprendre.....	99
IV.2.1 Le confort visuel.....	100
IV.2.2 Le confort acoustique .....	101
IV.2.3 Le confort hygrothermique.....	101
IV.2.4 Ventilation et qualité de l'air intérieur .....	103
IV.2.5 La couleur des espaces éducatifs .....	103
IV.3 Aspects pédagogiques et typologies des salles de classe .....	104
IV.4 Typologies et modèles d'organisation des bâtiments éducatifs .....	106
IV.5 Etudes de la performance énergétique dans les salles de classes .....	112
IV.6 Etudes du confort thermique dans les salles de classes .....	116
Conclusion .....	124

### ***Chapitre V : Analyse du cas d'étude***

Introduction .....	125
V.1 Les données climatologiques .....	126
V.1.1 Température .....	126
V.1.2 Humidité .....	127

V.1.3 Vents dominants .....	127
V.1.4 Précipitations .....	127
V.2 Le campus universitaire Mohamed Kheider de Biskra .....	128
V.2.1 Situation et délimitation du campus .....	128
V.2.2 Etapes d'évolution du campus .....	129
V.3 Présentation de l'échantillon de l'étude .....	130
V.4 Résumé des caractéristiques des blocs objet d'étude .....	132
V.5 Synthèse .....	150
Conclusion .....	153

### ***Chapitre VI : Modèle d'analyse et processus méthodologique***

Introduction .....	154
VI.1 Analyse typologique .....	155
VI.1.1 Quelques notions .....	155
VI.1.2 Procédure de l'analyse typologique .....	156
VI.1.2.1 Définition des critères de l'analyse typologique .....	156
VI.1.2.2 Ressortir et organiser les informations utiles pour l'analyse typologique .....	161
VI.1.2.3 Codification des critères d'analyse .....	163
VI.1.2.4 Typologies obtenues .....	164
VI.2 Les méthodes et les techniques de recherche utilisées.....	165
VI.2.1 La technique du questionnaire .....	165
IV.2.1.1 Pourquoi utiliser cette technique en évaluation ? .....	165
VI.2.1.2 Structure du formulaire des questions .....	165
VI.2.1.3 Passation du questionnaire .....	166
VI.2.1.4 Codage et traitement des données du questionnaire.....	167
VI.2.1 La technique de simulation .....	168
VI.2.2.1 Le choix d'outil de simulation « ECOTECT® » .....	168
VI.2.2.2 Etapes du travail par ECOTECT® .....	169
VI.2.2.3 Plan d'expérimentation .....	170
Conclusion .....	178

### ***Chapitre VII : Evaluation de l'ensoleillement***

Introduction .....	179
VII.1 Proportion de la salle de classe .....	180

VII.1.1 Ensoleillement des façades .....	180
VII.1.2 Taches solaires à l'intérieur des salles de classe.....	181
VII.1.3 Facteur de la lumière du jour (FLJ) .....	183
VII.2 Localisation de la salle de classe .....	185
VII.2.1 Ensoleillement des façades .....	185
VII.2.2 Taches solaires à l'intérieur des salles de classe.....	186
VII.3 Nombre de murs pourvus d'ouvertures .....	188
VII.3.1 Ensoleillement des façades .....	188
VII.3.2 Taches solaires à l'intérieur des salles de classe.....	188
VII.3.3 Facteur de la lumière du jour (FLJ) .....	190
VII.4 Pourcentage d'ouvertures .....	191
VII.4.1 Ensoleillement des façades .....	191
VII.4.2 Taches solaires à l'intérieur des salles de classe.....	193
VII.4.3 Facteur de la lumière du jour (FLJ) .....	194
VII.5 Orientation de la façade principale.....	196
VII.5.1 Ensoleillement des façades .....	196
VII.5.2 Taches solaires à l'intérieur des salles de classe.....	204
VII.6 Protection solaire .....	209
VII.6.1 Orientation Sud .....	209
VII.6.2 Orientation Ouest .....	212
VII.6.3 Orientation Est .....	213
VII.6.4 Lames horizontales.....	215
VII.6.5 Lames verticales .....	216
VII.7 Comparaison entre les typologies des blocs d'enseignement .....	217
VII.8 Synthèse .....	222
 <b><i>Chapitre VIII : Evaluation de la température intérieure</i></b>	
Introduction .....	225
VIII.1 Proportion de la salle de classe.....	226
VIII.2 Localisation de la salle de classe .....	228
VIII.3 Nombre de murs pourvus d'ouvertures .....	232
VIII.4 Pourcentage d'ouvertures .....	234
VIII.5 Orientation de la façade principale.....	236

VIII.6 Protection solaire .....	245
VIII.7 Comparaison entre les typologies des blocs d'enseignement .....	249
VIII.8 Synthèse .....	252
 <b><i>Chapitre IX : Evaluation des réponses subjectives</i></b>	
Introduction .....	253
IX.1 Température intérieure .....	254
IX.1.1 Proportion de la salle de classe.....	255
IX.1.2 Localisation de la salle de classe .....	256
IX.1.3 Nombre de murs pourvus d'ouvertures .....	257
IX.1.4 Pourcentage d'ouvertures .....	258
IX.1.5 Orientation de la façade principale.....	259
IX.2 Humidité relative.....	260
IX.2.1 Proportion de la salle de classe.....	260
IX.2.2 Localisation de la salle de classe .....	261
IX.2.3 Nombre de murs pourvus d'ouvertures .....	262
IX.2.4 Pourcentage d'ouvertures .....	263
IX.2.5 Orientation de la façade principale.....	264
IX.3 Mouvement de l'air .....	265
IX.3.1 Proportion de la salle de classe.....	265
IX.3.2 Localisation de la salle de classe .....	266
IX.3.3 Nombre de murs pourvus d'ouvertures .....	267
IX.3.4 Pourcentage d'ouvertures .....	268
IX.3.5 Orientation de la façade principale.....	269
IX.4 Ensoleillement de la salle de classe .....	270
IX.4.1 Proportion de la salle de classe.....	270
IX.4.2 Localisation de la salle de classe .....	271
IX.4.3 Nombre de murs pourvus d'ouvertures .....	272
IX.4.4 Pourcentage d'ouvertures .....	273
IX.4.5 Orientation de la façade principale.....	274
IX.5 Evaluation du confort hygrothermique global .....	275
IX.5.1 Proportion de la salle de classe.....	275
IX.5.2 Localisation de la salle de classe .....	275

IX.5.3 Nombre de murs pourvus d'ouvertures .....	276
IX.5.4 Pourcentage d'ouvertures .....	276
IX.5.5 Orientation de la façade principale.....	277
Conclusion .....	278
<b><i>Conclusion générale</i></b> .....	283
<b><i>Références bibliographiques</i></b> .....	294

## Liste des figures :

### *Chapitre I :*

<b>Fig I.1 :</b> La forme dans son contexte et hors son contexte.....	09
<b>Fig I.2 :</b> La forme comme structuration de l'espace .....	10
<b>Fig I.3 :</b> Le modèle de travail du musée de Cantabrie en Espagne et du Forum de la musique, la danse et la culture visuelle à Ghent, Belguim .....	13
<b>Fig I.4 :</b> La vallée du Mزاب : Beni Isgen, Melika et Ghardaïa.....	14
<b>Fig I.5 :</b> Schéma en coupe de l'igloo et la ferme en Normandie .....	15
<b>Fig I.6 :</b> Quelques exemples de formes régulières des bâtiments.....	19
<b>Fig I.7 :</b> La Mosquée Sultan Hassan au Caire ; une composition irrégulière des formes régulières .....	20
<b>Fig I.8 :</b> Projet de maison à cour, Mies van de Rohe ; Formes irrégulières dans un champ régulier.....	20
<b>Fig I.9 :</b> Unité d'habitation de Le Corbusier ; Transformation dimensionnelle d'un cube à une plaque verticale .....	21
<b>Fig I.10 :</b> Habitation à Switzerland, Mario Botta ; Exemple de transformations formelles soustractives de la forme .....	21
<b>Fig I.11 :</b> S. Maria Della Salute à Venise .....	22
<b>Fig I.12 :</b> Agora d'Assos, Asie mineure .....	22
<b>Fig I.13 :</b> Gratte-ciel sur la mer, Alger, Le Corbusier.....	23
<b>Fig I.14 :</b> Taos Pueblo, Mexique.....	23
<b>Fig I.15 :</b> Bâtiment de capsule de Nakagin, Tokyo, Kicho Kurokawa .....	24
<b>Fig I.16 :</b> Exemples théoriques des types primaires de bâtiments selon Krier .....	26
<b>Fig I.17 :</b> Exemples théoriques des fragments de bâtiments selon Krier.....	27
<b>Fig I.18 :</b> Marché végétal à Casablanca, Maroc ; Exemple de bâtiments à toit dominant..	28
<b>Fig I.19 :</b> Logement conçu par Mose Safadie dans l'expo 67 ; Exemple des formes rectilignes multiples enclenchées .....	29
<b>Fig I.20 :</b> Centre du sport de Belgrade ; Exemple des formes combinées .....	29

*Chapitre II :*

<b>Fig II.1 :</b> Relation entre l'isolation thermique et le dégagement de la chaleur spécifique du corps humain .....	34
<b>Fig II.2 :</b> Relation entre la température et l'humidité relative .....	35
<b>Fig II.3 :</b> Inconfort thermique local causé par la différence verticale de la température de l'air .....	37
<b>Fig II.4 :</b> Inconfort thermique local causé par l'asymétrie de la température radiante.....	37
<b>Fig II.5 :</b> Inconfort thermique local causé par un plancher chaud ou froid .....	38
<b>Fig II.6 :</b> Principe des différents aspects de la thermorégulation .....	40
<b>Fig II.7 :</b> L'interaction thermique entre le corps humain et son environnement .....	42
<b>Fig II.8 :</b> PPD en fonction du PMV d'après la norme ISO 7730.....	47
<b>Fig II.9 :</b> Diagramme bioclimatique d'Olgay .....	49
<b>Fig II.10 :</b> Diagramme psychrométrique de Givoni .....	50
<b>Fig II.11 :</b> Boucle de rétroaction de l'ajustement comportemental .....	56
<b>Fig II.12 :</b> Plages de confort si l'occupant ne dispose pas puis s'il dispose d'une capacité d'intervention sur son environnement via le logiciel Alter-clim.....	57

*Chapitre III :*

<b>Fig III.1 :</b> Coefficient de forme « Cf » pour différentes morphologies de bâtiments.....	60
<b>Fig III.2 :</b> Différentes manière d'agir sur le coefficient de forme .....	61
<b>Fig III.3 :</b> Effet de la hauteur du plafond sur la radiation du toit reçu par l'occupant et sur la graduation de la température de l'air intérieur .....	62
<b>Fig III.4 :</b> Paroi verticale et paroi horizontale .....	66
<b>Fig III.5 :</b> Intensité du rayonnement solaire sous différentes latitudes.....	66
<b>Fig III.6 :</b> Influence de l'orientation des ouvertures sur les températures intérieures selon différents cas de disponibilité d'occultation et ventilation.....	68
<b>Fig III.7 :</b> Conception de l'ouverture ; résultat d'un compromis de diverses exigences....	71
<b>Fig III.8 :</b> Angle d'incidence du rayonnement solaire selon l'orientation .....	73
<b>Fig III.9 :</b> Ouvertures et leurs orientations .....	74
<b>Fig III.10 :</b> Fonctions des protections solaires .....	77
<b>Fig III.11 :</b> Comportement d'une protection solaire par rapport aux rayons solaires, selon sa position par rapport à l'ouverture.....	79
<b>Fig III.12 :</b> Régimes de températures intérieures pour différents systèmes d'occultation .	81

<b>Fig III.13 :</b> (a) Protection fixe (b) Protection mobile .....	81
<b>Fig III.14 :</b> Protections solaires fixes.....	83
<b>Fig III.15 :</b> Génération de masques architecturaux à partir d'une boîte entourant la baie .	85
<b>Fig III.16 :</b> Transfert de chaleur dans le bâtiment .....	87
<b>Fig III.17 :</b> Valeurs de conductivité thermique pour quelques matériaux .....	88
<b>Fig III.18 :</b> Temps de déphasage de divers matériaux de construction .....	89

#### *Chapitre IV :*

<b>Fig IV.1 :</b> Typologies des bâtiments éducatifs selon l'étude de Da Graça et al (2007)...	107
<b>Fig IV.2 :</b> Typologies des bâtiments éducatifs selon l'étude de SBDU (2002).....	108
<b>Fig IV.3 :</b> Typologies des bâtiments éducatifs selon l'étude de Dudek (2007).....	108
<b>Fig IV.4 :</b> Typologies des bâtiments éducatifs selon l'étude de Kliment (2001) .....	109
<b>Fig IV.5 :</b> Typologies des bâtiments éducatifs selon l'étude de Dimoudi et Kostarela (2009) .....	110
<b>Fig IV.6 :</b> Typologies analysées dans l'étude de Montenegro Iturra (2011) .....	114

#### *Chapitre V :*

<b>Fig V.1 :</b> Situation de campus universitaire Mohamed Kheider de Biskra.....	128
<b>Fig V.2 :</b> Phases d'extension de campus universitaire Mohamed Kheider de Biskra.....	130
<b>Fig V.3 :</b> Différents blocs d'enseignement objet d'étude .....	131
<b>Fig V.4 :</b> Plans de RDC et 1er étage Bloc I .....	137
<b>Fig V.5 :</b> Organisation du plan BI ; modèle linéaire seule rangée .....	138
<b>Fig V.6 :</b> Quelques vues sur les différentes façades BI.....	139
<b>Fig V.7 :</b> Plans de différents niveaux du Bloc II.....	140
<b>Fig V.8 :</b> Organisation du plan BII ; modèle corridor central.....	140
<b>Fig V.9 :</b> Quelques vues sur les différentes façades du bloc II.....	141
<b>Fig V.10 :</b> Plans de différents niveaux du Bloc III .....	142
<b>Fig V.11 :</b> Organisation du plan BIII ; modèle corridor central.....	143
<b>Fig V.12 :</b> Quelques vues sur les différentes façades du bloc III.....	143
<b>Fig V.13 :</b> Plans des différents niveaux du Bloc IV.....	144
<b>Fig V.14 :</b> Organisation du plan BIV ; modèle corridor central .....	145
<b>Fig V.15 :</b> Quelques vues sur les différentes façades du bloc IV .....	146
<b>Fig V.16 :</b> Plans des différents niveaux du Bloc V .....	147
<b>Fig V.17 :</b> Organisation du plan BV ; modèle corridor central.....	148

<b>Fig V.18 :</b> Quelques vues sur les différentes façades du bloc V.....	148
<b>Fig V.19 :</b> Plans des différents niveaux du Bloc VI.....	149
<b>Fig V.20 :</b> Organisation du plan BVI ; modèle corridor central .....	149
<b>Fig V.21 :</b> Quelques vues sur les différentes façades du bloc VI .....	150
<b>Fig V.22 :</b> Modèles des blocs d'enseignements .....	151
<b>Fig V.23 :</b> Diverses caractéristiques des salles de classe .....	152

### *Chapitre VI :*

<b>Fig VI. 1 :</b> Exemple de la proportion de la salle de classe.....	156
<b>Fig VI. 2 :</b> Différents types de localisation de la salle de classe .....	157
<b>Fig VI. 3 :</b> Exemple d'une salle de classe munie d'ouvertures bilatéralement .....	157
<b>Fig VI. 4 :</b> Exemple du pourcentage d'ouvertures .....	158
<b>Fig VI. 5 :</b> Exemple de la position des ouvertures sur le mur de la façade .....	159
<b>Fig VI. 6 :</b> Critères de l'analyse typologique des salles de classe .....	159
<b>Fig VI. 7 :</b> Exemples des typologies existantes des blocs d'enseignement étudiés .....	160
<b>Fig VI. 8 :</b> Critères de l'analyse typologique des blocs d'enseignement.....	161
<b>Fig VI. 9 :</b> Schéma de distribution des formulaires de questions dans une salle de classe .....	167
<b>Fig VI. 10 :</b> Structure de l'étude de variables .....	171
<b>Fig VI. 10 :</b> Schéma explicatif de la structure des séries de simulations.....	172

### *Chapitre VII :*

<b>Fig VII. 1 :</b> Ensoleillement des façades des salles de classe S6-3 et S6-4 .....	180
<b>Fig VII. 2 :</b> Facteur d'ombrage des façades Sud des salles de classe S6-3 et S6-4.....	181
<b>Fig VII. 3 :</b> Répartition des taches solaires à l'intérieur de la salle de classe S6-3 .....	181
<b>Fig VII. 4 :</b> Répartition des taches solaires à l'intérieur de la salle de classe S6-4 .....	182
<b>Fig VII. 5 :</b> Ouvertures des salles de classe S6-3 et S6-4 ombragées par les brises soleil .....	182
<b>Fig VII. 6 :</b> Répartition des taches solaires à l'intérieur de la salle de classe S6-4 en cas d'absence des brises soleil.....	183
<b>Fig VII. 7 :</b> Répartition du facteur de lumière du jour FLJ à l'intérieur de salles de classe S6-3 et S6-4 .....	184
<b>Fig VII. 8 :</b> Ensoleillement des façades Ouest des salles S1-1 et S1-4 .....	185
<b>Fig VII. 9 :</b> Ensoleillement des façades Est des salles de classe S1-1 et S1-4 .....	186

<b>Fig VII. 10 :</b> Facteur d’ombrage des façades des salles de classe S1-1 et S1-4.....	186
<b>Fig VII. 11 :</b> Répartition des taches solaires à l’intérieur des salles de classe S1-1 et S1-4 .....	187
<b>Fig VII. 12 :</b> Ensoleillement des façades des salles de classe S6-1 et S6-2 .....	188
<b>Fig VII. 13 :</b> Répartition des taches solaires à l’intérieur des salles de classe S6-1 et S6-2 .....	189
<b>Fig VII. 14 :</b> Répartition du facteur de lumière du jour FLJ à l’intérieur des salles de classe S6-1 et S6-2.....	190
<b>Fig VII. 15 :</b> Ensoleillement de la façade Ouest de la salle de classe S1-4.....	191
<b>Fig VII. 16 :</b> Ensoleillement de la façade Est de la salle de classe S1-4 .....	192
<b>Fig VII. 17 :</b> Ensoleillement des façades de la salle de classe S2-2.....	192
<b>Fig VII. 18 :</b> Répartition des taches solaires à l’intérieur de la salle de classe S1-4 .....	193
<b>Fig VII. 19 :</b> Répartition des taches solaires à l’intérieur de la salle de classe S2-2 .....	194
<b>Fig VII. 20 :</b> Répartition du facteur de lumière du jour FLJ à l’intérieur des salles de classe S1-4 et S2-2.....	195
<b>Fig VII. 21 :</b> Ensoleillement de la façade Ouest de la salle de classe S1-1 .....	196
<b>Fig VII. 22 :</b> Ensoleillement de la façade Nord de la salle de classe S1-9 .....	197
<b>Fig VII. 23 :</b> Facteur d’ombrage des façades Ouest de la salle de classe S1-4 et Nord de la salle de classe S1-9.....	197
<b>Fig VII. 24 :</b> Ensoleillement des façades Ouest de la salle de classe S2-1 et Sud de la salle de classe S6-4 .....	198
<b>Fig VII. 25 :</b> Facteur d’ombrage des façades Ouest de la salle de classe S2-1 et Sud de la salle de classe S6-4.....	199
<b>Fig VII. 26 :</b> Ensoleillement de la façade Ouest de la salle de classe S2-2.....	199
<b>Fig VII. 27 :</b> Ensoleillement de la façade Est de la salle de classe S2-4 .....	200
<b>Fig VII. 28 :</b> Facteur d’ombrage des façades Ouest de la salle de classe S2-2 et Est de la salle S2-4 .....	200
<b>Fig VII. 29 :</b> Facteur d’ombrage des façades Nord des salles de classe S3-5, S4-1 et Sud des salles S3-6, S4-5.....	201
<b>Fig VII. 30 :</b> Ensoleillement des façades Nord des salles de classe S3-5 et S4-1 .....	202
<b>Fig VII. 31 :</b> Ensoleillement des façades Sud des salles de classe S3-6 et S4-5 pendant la durée d’occupation .....	203

<b>Fig VII. 32</b> : Répartition des taches solaires à l'intérieur des salles de classe S1-1 et S1-9 .....	204
<b>Fig VII. 33</b> : Répartition des taches solaires à l'intérieur des salles de classe S2-1 et S6-4 .....	205
<b>Fig VII. 34</b> : Répartition des taches solaires à l'intérieur des salles de classe S2-2 et S2-4 .....	206
<b>Fig VII. 35</b> : Répartition des taches solaires à l'intérieur de la salle de classe S3-5 .....	207
<b>Fig VII. 36</b> : Répartition des taches solaires à l'intérieur de la salle de classe S4-1 .....	207
<b>Fig VII. 37</b> : Répartition des taches solaires à l'intérieur de la salle de classe S3-6 .....	208
<b>Fig VII. 38</b> : Répartition des taches solaires à l'intérieur de la salle de classe S4-5 .....	208
<b>Fig VII. 39</b> : Ombrage de la façade Sud de la salle de classe S1-9 .....	209
<b>Fig VII. 40</b> : Ombrage des façades Sud des salles de classe S3-6 et S3-8 .....	210
<b>Fig VII. 41</b> : Ombrage des façades Sud des salles de classe S4-5 et S4-6 .....	210
<b>Fig VII. 42</b> : Ombrage de la façade Sud de la salle de classe S5-4 .....	211
<b>Fig VII. 43</b> : Ombrage des façades Sud des salles de classe de classe S6-3 et S6-4 .....	212
<b>Fig VII. 44</b> : Ombrage des façades Ouest des salles de classe S1-1 et S1-4 .....	212
<b>Fig VII. 45</b> : Ombrage des façades Ouest des salles de classe S2-1 et S2-4 .....	213
<b>Fig VII. 46</b> : Ombrage des façades Est des salles de classe S1-1 et S1-4 .....	214
<b>Fig VII. 47</b> : Ombrage des façades Est de la salle de classe S2-4 .....	214
<b>Fig VII. 48</b> : Ombrage de la façade Sud de la salle de classe S1-9 pour le cas des lames horizontales.....	215
<b>Fig VII. 49</b> : Ombrage de la façade Ouest de la salle de classe S1-1 pour le cas des lames horizontales.....	215
<b>Fig VII. 50</b> : taches solaires à l'intérieur de la salle de classe S1-1 pour le cas des lames horizontales.....	216
<b>Fig VII. 51</b> : Ombrage de la façade Sud de la salle de classe S1-9 pour le cas des lames verticales.....	216
<b>Fig VII. 52</b> : Ombrage de la façade Ouest de la salle de classe S1-1 pour le cas des lames verticales.....	217
<b>Fig VII. 53</b> : Facteurs d'ombrage des trois typologies des blocs d'enseignement .....	219
<b>Fig VII. 54</b> : Répartition des taches solaires à l'intérieur des salles de classe des typologies 01 et 02 des blocs d'enseignement .....	219

<b>Fig VII. 55 :</b> Répartition des taches solaires à l'intérieur des salles de classe de la typologie 03 des blocs d'enseignement.....	220
<b>Fig VII. 56 :</b> Répartition du facteur de lumière du jour FLJ à l'intérieur des trois typologies des blocs d'enseignement .....	221

*Chapitre VIII :*

<b>Fig VIII. 1 :</b> Distribution journalière de la température intérieure des salles de classe S6-3 et S6-4.....	226
<b>Fig VIII. 2 :</b> Ecart journalier entre les températures extérieures et les températures intérieures des salles de classe S6-3 et S6-4.....	227
<b>Fig VIII. 3 :</b> Gains thermiques dans les salles de classe S6-3 et S6-4.....	228
<b>Fig VIII. 4 :</b> Distribution journalière de la température extérieure et la température intérieure des salles de classe S1-1 et S1-4 .....	229
<b>Fig VIII. 5 :</b> Ecart journalier entre les températures extérieures et les températures intérieures des salles de classe S1-1 et S1-4.....	229
<b>Fig VIII. 6 :</b> Distribution journalière de la température extérieure et la température intérieure des salles de classe S4-5 et S4-6 .....	230
<b>Fig VIII. 7 :</b> Ecart journalier entre les températures extérieures et les températures intérieures des salles de classe S4-5 et S4-6.....	230
<b>Fig VIII. 8 :</b> Gains thermiques dans les salles de classe S1-1 et S1-4.....	231
<b>Fig VIII. 9 :</b> Gains thermiques dans les salles de classe S4-5 et S4-6.....	231
<b>Fig VIII. 10 :</b> Distribution journalière de la température extérieure et la température intérieure des salles de classe S6-1 et S6-2 .....	232
<b>Fig VIII. 11 :</b> Ecart journalier entre les températures extérieures et les températures intérieures des salles de classe S6-1 et S6-2.....	233
<b>Fig VIII. 12 :</b> Gains thermiques dans les salles de classe S6-1 et S6-2.....	233
<b>Fig VIII. 13 :</b> Distribution journalière de la température extérieure et la température intérieure des salles de classe S1-4 et S2-2 .....	234
<b>Fig VIII. 14 :</b> Ecart journalier entre les températures extérieures et les températures intérieures des salles de classe S1-4 et S2-2.....	235
<b>Fig VIII. 15 :</b> Gains thermiques dans les salles de classe S2-2 et S1-4.....	236
<b>Fig VIII. 16 :</b> Distribution journalière de la température extérieure et la température intérieure des salles de classe S1-1 et S1-9 .....	237

<b>Fig VIII. 17 :</b> Ecart journalier entre les températures extérieures et les températures intérieures des salles de classe S1-1 et S1-9.....	237
<b>Fig VIII. 18 :</b> Distribution journalière de la température extérieure et la température intérieure des salles de classe S2-1 et S6-4 .....	238
<b>Fig VIII. 19 :</b> Ecart journalier entre les températures extérieures et les températures intérieures des salles de classe S2-1 et S6-4.....	238
<b>Fig VIII. 20 :</b> Distribution journalière de la température extérieure et la température intérieure des salles de classe S2-2 et S2-4 .....	239
<b>Fig VII. 21 :</b> Ecart journalier entre les températures extérieures et les températures intérieures des salles de classe S2-2 et S2-4.....	239
<b>Fig VIII. 22 :</b> Distribution journalière de la température extérieure et la température intérieure des salles de classe S4-1 et S4-5 .....	240
<b>Fig VIII. 23 :</b> Ecart journalier entre les températures extérieures et les températures intérieures des salles de classe S4-1 et S4-5.....	240
<b>Fig VIII. 24 :</b> Gains thermiques dans les salles de classe S1-1 et S1-9.....	241
<b>Fig VIII. 25 :</b> Gains thermiques dans les salles de classe S2-1 et S6-4.....	241
<b>Fig VIII. 26 :</b> Gains thermiques dans les salles de classe S2-2 et S2-4.....	242
<b>Fig VIII. 27 :</b> Gains thermiques dans les salles de classe S3-5 et S3-6.....	243
<b>Fig VIII. 28 :</b> Gains thermiques dans les salles de classe S4-1 et S4-5.....	243
<b>Fig VIII. 29 :</b> Ecart journalier entre les températures intérieures des salles de classe S1-9, S3-6, S4-5, S5-4 et S6-4 avec et sans protection solaire .....	244
<b>Fig VIII. 30 :</b> Ecart journalier entre les températures intérieures des salles de classe S1-1 et S2-2 avec et sans protection solaire.....	244
<b>Fig VIII. 31 :</b> Ecart journalier entre les températures intérieures des salles de classe S1-1 et S2-4 avec et sans protection solaire.....	246
<b>Fig VIII. 32 :</b> Ecart journalier entre les températures intérieures des salles de classe S1-1 et S2-2 avec et sans protection solaire.....	246
<b>Fig VIII. 33 :</b> Ecart journalier entre les températures intérieures des salles de classe S1-1 et S2-4 avec et sans protection solaire.....	247
<b>Fig VIII. 34 :</b> Ecart journalier entre les températures intérieures des salles de classe S1-9 (Sud) et S1-1.....	248
<b>Fig VIII. 35 :</b> Ecart journalier entre les températures intérieures des salles de classe S1-9 (Sud) et S1-1 (Est et Ouest) avec et sans lames verticales .....	248

<b>Fig VIII. 36 :</b> Distribution journalière de la température extérieure et la température intérieure dans les différentes typologies des blocs d'enseignement .....	250
<b>Fig VIII. 37 :</b> Gains thermiques dans les différentes typologies des blocs d'enseignement .....	251

***Chapitre IX :***

<b>Fig IX. 1 :</b> Echelles de sensation, d'acceptabilité et de préférence vis-à-vis la température intérieure .....	254
<b>Fig IX. 2 :</b> Influence de la proportion de la salle de classe sur le confort hygrothermique .....	278
<b>Fig IX. 3 :</b> Influence de la localisation de la salle de classe sur le confort hygrothermique .....	279
<b>Fig IX. 4 :</b> Influence du nombre de murs pourvus d'ouvertures sur le confort hygrothermique.....	280
<b>Fig IX. 5 :</b> Influence du pourcentage d'ouverture sur le confort hygrothermique.....	281
<b>Fig IX. 6 :</b> Influence de l'orientation des façades sur le confort hygrothermique .....	282

## Liste des tableaux :

### *Chapitre I :*

**Tableau I.1 :** Classification typologiques des formes selon Martinssen (1976) ..... 24-25

### *Chapitre II :*

**Tableau II.1 :** Echelles de sensation thermique ..... 51

**Tableau II.2 :** Echelles du jugement subjectif sur les conditions thermiques..... 52

### *Chapitre III :*

**Tableau III.1 :** L'ouverture composante à usage multiples et contradictoires..... 70

### *Chapitre IV :*

**Tableau IV.1 :** Types de modèles conceptuels de bâtiment scolaires selon l'étude de Rigolon (2010)..... 110-111

**Tableau IV.2 :** Quelques études d'évaluation du confort thermique dans les salles de classe..... 116-123

### *Chapitre V :*

**Tableau V.1 :** tableau récapitulatif des données climatiques de la ville de Biskra de l'année 2009 ..... 126

**Tableau V.2 :** tableau récapitulatif des caractéristiques des blocs objet d'étude ..... 132-136

### *Chapitre VI :*

**Tableau VI. 1 :** Critères de l'analyse typologique et informations nécessaires ..... 161

**Tableau VI. 2 :** Tableau récapitulatif des critères de l'analyse typologique Bloc I ..... 162

**Tableau VI. 3 :** Codification des paramètres de l'analyse typologique des salles de classe..... 163

**Tableau VI. 4 :** Tableau récapitulatif des groupes typologique obtenus..... 164

**Tableau VI. 5 :** Explication de la première partie de la première série de simulations ..... 173

**Tableau VI. 6 :** Explication de la deuxième partie de la première série de simulations ..... 174

**Tableau VI. 7 :** Explication de la deuxième série de simulations ..... 175

**Tableau VI. 8 :** Explication de la troisième série de simulations..... 176

**Tableau VI. 9 :** Explication de la quatrième série de simulations..... 177

*Chapitre VII :*

<b>Tableau VII. 1 :</b> Les caractéristiques des typologies des blocs d'enseignement .....	218
<b>Tableau VII. 2 :</b> Synthèse des résultats de la simulation d'enseillement .....	222-224

*Chapitre VIII :*

<b>Tableau VIII. 1 :</b> Valeurs de la température intérieure dans les typologies de blocs d'enseignement.....	249
<b>Tableau VIII. 2 :</b> Synthèse des résultats de la simulation des températures intérieures.....	252

*Chapitre IX :*

<b>Tableau IX. 1 :</b> Influence de la proportion de la salle de classe sur les jugements de sensation, d'acceptabilité et de préférence vis-à-vis la température intérieure .....	255
<b>Tableau IX. 2 :</b> Influence de la localisation de la salle de classe sur les jugements de sensation, d'acceptabilité et de préférence vis-à-vis la température intérieure .....	256
<b>Tableau IX. 3 :</b> Influence du nombre de murs pourvus d'ouvertures sur les jugements de sensation, d'acceptabilité et de préférence vis-à-vis la température intérieure .....	257
<b>Tableau IX. 4 :</b> Influence du pourcentage d'ouvertures sur les jugements de sensation, d'acceptabilité et de préférence vis-à-vis la température intérieure .....	258
<b>Tableau IX. 5 :</b> Influence de l'orientation de la façade principale de la salle de classe sur les jugements de sensation, d'acceptabilité et de préférence vis-à-vis la température intérieure.....	259
<b>Tableau IX. 6 :</b> Influence de la proportion de la salle de classe sur les jugements de sensation, d'acceptabilité et de préférence vis-à-vis l'humidité relative.....	260
<b>Tableau IX. 7 :</b> Influence de la localisation de la salle de classe sur les jugements de sensation, d'acceptabilité et de préférence vis-à-vis l'humidité relative.....	261
<b>Tableau IX. 8 :</b> Influence du nombre de murs pourvus d'ouvertures sur les jugements de sensation, d'acceptabilité et de préférence vis-à-vis l'humidité relative .....	262
<b>Tableau IX. 9 :</b> Influence du pourcentage d'ouvertures sur les jugements de sensation, d'acceptabilité et de préférence vis-à-vis l'humidité relative.....	263
<b>Tableau IX. 10 :</b> Influence de l'orientation de la façade principale sur les jugements de sensation, d'acceptabilité et de préférence vis-à-vis l'humidité relative.....	264
<b>Tableau IX. 11 :</b> Influence de la proportion de la salle de classe sur les jugements de sensation, d'acceptabilité et de préférence vis-à-vis la vitesse de l'air .....	265

<b>Tableau IX. 12 :</b> Influence de la localisation de la salle de classe sur les jugements de sensation, d'acceptabilité et de préférence vis-à-vis la vitesse de l'air .....	266
<b>Tableau IX. 13 :</b> Influence du nombre de murs pourvus d'ouvertures sur les jugements de sensation, d'acceptabilité et de préférence vis-à-vis la vitesse de l'air .....	267
<b>Tableau IX. 14 :</b> Influence du pourcentage d'ouvertures sur les jugements de sensation, d'acceptabilité et de préférence vis-à-vis la vitesse de l'air .....	268
<b>Tableau IX. 15 :</b> Influence de l'orientation de la façade principale sur les jugements de sensation, d'acceptabilité et de préférence vis-à-vis la vitesse de l'air .....	269
<b>Tableau IX. 16 :</b> Influence de la proportion de la salle de classe sur la présence et le type de la gêne par rapport à l'ensoleillement .....	270
<b>Tableau IX. 17 :</b> Influence de la localisation de la salle de classe sur la présence et le type de la gêne par rapport à l'ensoleillement .....	271
<b>Tableau IX. 18 :</b> Influence du nombre de murs pourvus d'ouvertures sur la présence et le type de la gêne par rapport à l'ensoleillement .....	272
<b>Tableau IX. 19 :</b> Influence du pourcentage d'ouvertures sur la présence et le type de la gêne par rapport à l'ensoleillement .....	273
<b>Tableau IX. 20 :</b> Influence de l'orientation de la façade principale sur la présence et le type de la gêne par rapport à l'ensoleillement .....	274
<b>Tableau IX. 21 :</b> Influence de la proportion de la salle de classe sur le confort hygrothermique.....	275
<b>Tableau IX. 22 :</b> Influence de la localisation de la salle de classe sur le confort hygrothermique.....	275
<b>Tableau IX. 23 :</b> Influence du nombre de murs pourvus d'ouvertures sur le confort hygrothermique.....	276
<b>Tableau IX. 24 :</b> Influence du pourcentage d'ouvertures sur le confort hygrothermique....	276
<b>Tableau IX. 25 :</b> Influence de l'orientation de la façade principale sur le confort hygrothermique.....	277

# INTRODUCTION GÉNÉRALE

## Introduction :

*« Fin des années soixante, la problématique écologique prend une nouvelle forme et une nouvelle ampleur. Il devient évident que le développement industriel, la croissance économique et le productivisme génèrent des nuisances : la pollution rejetée dans l'air et dans les eaux ; la déforestation et la désertification; les menaces contre la conservation des sols, de la flore et des espèces sauvages » (Liébard, 2005).*

Aujourd'hui, la problématique de l'énergie, consécutive du second choc pétrolier et de la réalité d'épuisement prochain des ressources fossiles, relance la nécessité de réfléchir la consommation énergétique excessive et ses impacts sur le plan économique, écologique et environnemental.

Le secteur du bâtiment est très énergivore ; il présente 30 % à 40 % de la consommation énergétique totale. Cette énergie est principalement utilisée pour le chauffage et le refroidissement, qui représentent les solutions offertes pour régler les problèmes d'inconfort liés soit ; à la sous-chauffe, résultante des pertes thermiques en période froide, soit à la surchauffe liée à l'exposition excessive du bâtiment aux radiations solaires en période chaude et principalement sous des conditions d'un climat aride.

Ce secteur occupe, donc, une place particulière et constitue l'un des soucis majeurs face aux nécessités de la maîtrise de la consommation énergétique et aux préoccupations grandissantes du développement durable. Il doit répondre à deux exigences fondamentales : maîtriser à la fois ses impacts sur l'environnement extérieur, et aussi assurer des ambiances intérieures saines et confortables pour les occupants.

De ce fait, le souci d'une conception architecturale est de permettre au bâtiment d'améliorer le confort intérieur des usagers et de bénéficier d'une ambiance agréable, pour une plage de variations des conditions extérieures assez large, d'une manière passive. C'est à dire minimiser le plus possible le recours aux systèmes actifs, comme solutions aux problèmes du bâtiment.

En fait, la conception du bâtiment en harmonie avec son environnement, tout en consacrant une attention particulière aux éléments qui déterminent la forme architecturale et qui pourraient contribuer à l'amélioration du confort intérieur ; constitue de nos jours, une préoccupation primordiale, reconnue à travers le monde comme l'un des axes de recherche les plus importants.

Par ailleurs, les exigences des individus différents, et l'approche du bien-être recherchée dépend aussi, et en grande partie de la fonction attribuée aux espaces composant le bâtiment.

C'est dans le cadre de cette thématique globale que s'inscrit notre étude. Dans ce qui suit nous présentons, notre problématique ; les hypothèses et les objectifs de notre recherche.

### **Problématique :**

L'éducation n'est pas seulement un bien précieux en soi, mais elle est aussi une composante du développement (Guttman, 2003), elle est « *une condition essentielle du développement durable ainsi que de la paix et de la stabilité à l'intérieur des pays et entre eux, et donc le moyen indispensable d'une participation effective à l'économie et à la vie des sociétés du 21<sup>ème</sup> siècle soumises à un processus de mondialisation rapide* » (Fiske, 2000).

En tant que bâtiments publics à usage spécialisé, les bâtiments éducatifs revêtent une importance clé depuis que les gouvernements ont reconnu à leur population un droit à l'éducation.

En Algérie, et dans un souci d'opérer une mutation aussi bien quantitative que qualitative du système éducatif, les pouvoirs publics se sont engagés dans un vaste programme afin de répondre au souci majeur d'absorber l'insuffisance et le manque accru.

En vu d'atteindre cet objectif, des solutions constructives ont été prises allant jusqu'à la standardisation des projets prototypés de bâtiments éducatifs à adapter aux différents sites, négligeant à la fois le contexte social et climatique de projection de ces prototypes (Tebbouche, 2010).

La production des infrastructures d'enseignement supérieur n'échappe pas à cette logique ; la politique, adoptée jusqu'à lors, favorise l'aspect quantitatif au détriment de la qualité qui a été toujours un maillon manquant.

En effet, l'inexistence d'une politique réglementaire incitative fixant les exigences et les normes à intégrer dans ce type d'opération, en plus de la variété des maîtres d'œuvre et de réalisateurs sur le marché du bâtiment, après la politique de privatisation, ont entraîné, par voie de conséquence, l'apparition d'un parc immobilier de bâtiments d'enseignement supérieur dépourvus de tout confort, ne répondant guère aux besoins de leurs occupants.

Donc, l'absence ou la négligence de la prise en compte des principes d'une conception des bâtiments éducatifs en rapport avec leurs contextes climatiques a engendré une situation de congestion et a conduit à des conséquences négatives lourdes.

D'une autre part, « *il est utile de répéter que le rôle premier d'un bâtiment est d'assurer à ses occupants un climat intérieur agréable et peu dépendant des conditions climatiques extérieures* » (Roulet, 2004).

Ainsi, sur le plan scientifique, un environnement climatique adéquat à l'apprentissage et à la santé de ses occupants exige plusieurs conditions. Plusieurs études ont prouvé que l'homme ne pourrait passer à un stade de performance intellectuelle dans des conditions climatiques défavorables.

Le confort hygrothermique est l'une des principales caractéristiques qui contribuent à la création d'un environnement propice à l'éducation. Les conditions hygrothermiques dans les salles de classe doivent être, donc, considérées soigneusement principalement en raison de la densité élevée d'occupation et des grandes surfaces vitrées utilisées pour un but fonctionnel (éclairage et aération), et en raison des influences négatives qu'un environnement thermique insuffisant a sur la performance d'apprendre (Wong, 2003 ; Boucheham, 2010 ; Firth, 2010).

Dans les régions arides, dont le climat est caractérisé par un rayonnement solaire direct très intense et une faible humidité relative ; assurer un confort hygrothermique agréable, propice à la bonne santé, le bien-être et la capacité d'apprendre des occupants, dans les bâtiments éducatifs, se présente comme une préoccupation majeure vue l'importance du secteur.

« *La qualité architecturale participe aux conditions du confort intérieur, ou réciproquement, le confort offert par le bâtiment est l'un des aspects de son architecture* » (Roulet, 2004). Cependant, la réalité qui se flote est la standardisation des conditions thermiques par l'utilisation des systèmes mécaniques dont le fonctionnement est prévu indépendamment de la conception globale du bâtiment.

Face à ses postulats, peut-on par le fait d'agir sur la forme architecturale des bâtiments éducatifs de contrôler au mieux et d'améliorer les conditions du confort hygrothermique intérieur, dans le but de satisfaire les occupants, sans avoir recours aux solutions actives et aux rajouts artificiels.

## **Objectifs et hypothèses :**

La présente étude vise, principalement, à évaluer et mesurer l'impact de la forme architecturale des bâtiments d'enseignement supérieur sur le confort hygrothermique des étudiants sous un climat aride (chaud et sec).

Elle tend, aussi, à relever, parmi les formes les plus récurrentes des bâtiments d'enseignement, celles jugées comme plus performantes en matière de réponse aux exigences du confort hygrothermique pour les étudiants sous les conditions du climat choisi.

A cet effet, nous avons émis, pour atteindre ces objectifs, des hypothèses exposées comme suit :

### **Hypothèse principale :**

Il semble que la forme architecturale des bâtiments d'enseignement supérieur est un élément déterminant qui influence le confort hygrothermique des étudiants.

### **Hypothèses secondaires :**

1. L'orientation des bâtiments d'enseignement supérieur, selon le climat, constitue un élément important qui peut influencer positivement ou négativement le confort hygrothermique des étudiants.
2. De tous les composants de l'enveloppe du bâtiment, les ouvertures sont l'élément le plus critique en raison de leur complexité. Selon leurs dimensions, elles influencent le confort hygrothermique des étudiants dans les bâtiments d'enseignement supérieur.
3. Les protections solaires dans un bâtiment, selon leur conception et leurs dimensions, jouent un rôle complémentaire par le fait qu'elles permettent ou bien empêchent, selon les périodes, la pénétration des rayons solaires directs. Donc, elles participent au maintien du confort hygrothermique des étudiants dans les bâtiments d'enseignement supérieur.

## Structure générale du travail :

Afin de répondre aux objectifs du travail, cités précédemment, l'étude s'est attelée à confirmer ou à infirmer ces hypothèses à travers une structuration de la recherche qui va s'articuler autour de deux parties principales reliées par un modèle d'analyse.

**La première partie**, consiste en une recherche bibliographique et documentaire scindée en quatre chapitres ayant pour objectif de cerner et de comprendre tous les éléments théoriques de base en rapport avec le sujet de recherche permettant, ainsi, la construction d'un modèle d'analyse.

Le premier chapitre vise à une bonne compréhension de la forme architecturale à travers ses définitions, les différentes approches qui la traite et les multiples facteurs qui influencent sa création. Le deuxième chapitre a pour objet de fournir un maximum d'informations qui participe à clarifier la notion du confort hygrothermique à travers la présentation de ses définitions, les différents facteurs qui l'influencent en révélant son interdisciplinarité, les méthodes de son évaluation et les approches qui servent pour son étude. Par la suite, il y a lieu de cibler les impacts des différents paramètres de la forme architecturale sur la performance thermique du bâtiment ce qui constituera l'essentiel du troisième chapitre. Quant au quatrième chapitre, il abordera, principalement, l'influence des paramètres de l'environnement physique des bâtiments éducatifs sur la capacité et la performance d'apprendre des étudiants.

La construction du modèle d'analyse est précédée par la présentation de l'échantillon de l'étude qui fait l'objet du cinquième chapitre. Les informations fournies dans ce chapitre nous permettent de faciliter l'illustration de notre modèle d'analyse. Ce dernier constituera l'objet du sixième chapitre, il est élaborer par l'identification des principaux concepts. Son application est basée sur deux méthodes ; la méthode expérimentale et la méthode d'enquête.

**La deuxième partie** concerne le volet analytique, qui consistera en l'application du modèle d'analyse sur l'échantillon étudié. Cette 2<sup>ème</sup> partie est structurée en trois chapitres ; les deux premiers (septième et huitième chapitre) sont consacrés à l'application de la première méthode sur notre échantillon, et le troisième (neuvième chapitre) concerne une analyse de ce même échantillon -objet de notre étude- par l'application de la deuxième méthode

L'ensemble de ces neuf chapitres sont initié d'une introduction générale et finaliser par une conclusion générale.

# CHAPITRE I :

## FORME ARCHITECTURALE

*« Pourquoi se plaindre de posséder dans le temps des limites ? Sans limite, il n'y a pas une forme. Sans forme il n'y a pas de perfection »*

Lanza del Vasto

## **Introduction :**

La question de la forme traverse toute l'architecture. La raison est évidente : c'est l'aspect le plus visible d'une construction sur lequel chacun peut se permettre d'avoir une opinion (Zartarian, 2008).

Ainsi, le bâti est le cadre physique élémentaire des activités de l'homme, d'où l'importance vitale et le souci ancestral de l'homme de créer des lieux appropriés à l'exercice de ses occupations courantes (Vito, 1992).

Donc, qu'il s'agisse de son habitat, de ses lieux de travail ou tout autre type de bâtiments, l'homme se soucie toujours de l'amélioration et l'adaptation du bâti à ses propres besoins.

Le présent chapitre vise à une bonne compréhension de la forme architecturale à travers ses définitions, les différentes approches qui la traitent, ainsi que les multiples facteurs qui influencent sa création et son aboutissement. A la fin, nous avons essayé de cerner la classification des formes architecturales, à travers quelques études, dans le but d'approfondir sa compréhension.

## I.1 La Forme architecturale : Définitions :

L'utilisation du concept forme est répandue dans des disciplines diverses telle la linguistique, la logique, l'art, la sémiotique, et les sciences humaines, etc. Selon ces différents domaines, plusieurs définitions sont proposées pour ce concept.

Dans le domaine de l'architecture, ce concept est largement traité et étudié. Une variété de définitions, parfois convergentes ou contradictoires, lui est attribuée. Cette contradiction est résultante des doctrines et théories différentes et parfois opposées (Boussora, 2009).

Issue du projet, la forme architecturale représente en premier lieu, à partir d'un dessin, une réalité future pour être enfin mêlée avec cette réalité qui est la construction. La forme est, donc, l'évolution et l'aboutissement du projet. Ainsi, elle se définit par un rapport indissociable entre un concept, une pensée d'être et l'expression architecturale dictée par cette pensée (Mastelan, 2005).

La forme architecturale ne se résume pas à un volume défini par sa configuration géométrique selon les trois dimensions euclidiennes de la volumétrie spatiale, mais elle est plutôt le résultat d'assemblage et de combinaison, obéis à certaines règles de composition, de plusieurs éléments architecturaux. Elle se caractérise aussi par des propriétés visuelles telles que la couleur, les proportions, la texture, le rapport à l'environnement, etc. Dans ce même contexte, Ching (1979), dans son ouvrage « *Architecture, Form, Space and Order* », montre la distinction en anglais entre « form » et « shape ». Tandis que le premier signifie un volume tridimensionnel caractérisé par des propriétés, le dernier renvoie spécifiquement à la configuration des contours délimitant la forme.

En outre, la forme architecturale est double, celle perçue de l'intérieur et celle perçue de l'extérieur (Zartarian, 2008). Elle se réfère simultanément à l'organisation intérieure d'une construction, aux limites extérieures et au principe d'unité de l'ensemble (Ching, 1979).

## I.2 Différentes approches de la forme architecturale :

### I.2.1 La forme suit la fonction :

Cette approche considère la forme architecturale comme l'expression de sa fonction. En d'autres termes, la forme est expliquée par sa fonction. C'est la vision des fonctionnalistes « *form ever follows function* » ou la forme suit la fonction de Louis Sullivan qui suppose que la forme est issue d'une nécessité fonctionnelle et que la fonction joue le rôle d'une impulsion créatrice de la forme.

Il insiste que la beauté d'une forme est proportionnelle à l'expression de la fonction remplie (Foura, 2010) ; sa pensée, qui postule que chaque fonction trouve ou s'engage à trouver sa forme, est fortement imprégnée des théories de Charles Darwin (Mastelan, 2005). Ainsi, l'expression de Mies van der Rohe « *Le fonctionnel est un art* » fonde cette approche.

### **I.2.2 La forme au champ du formalisme :**

C'est la vision des formalistes, « *form evokes function* » attribuée à Louis Kahn. Il donne au mot « form », à partir de son sens élémentaire en anglais, un sens idéal générique et immatérialisé, propre au type ou à l'espèce ; c'est la pensée de la forme qui canalise toute formation spatiale et donc son appropriation et son usage. La forme, qui caractérise une existence par rapport à une autre, a une relation privilégiée avec le design « *form inspire design* » (Mastelan, 2005).

### **I.2.3 La forme est en rapport avec son contexte :**

Toute forme architecturale dans l'espace se trouve liée et influencée par l'environnement où elle est implantée, soit positivement ou négativement. « *Il n'y a pas d'architecture construite ex-nihilo ... Tout projet d'architecture construit est réécriture d'un contexte* » (Tixier, 2001).

Les lois de la Gestalt théorie, qui permettent de relier la forme à son contexte, considère que la forme, qui est une partie d'un tout, est autre chose que cette partie isolée ou insérée dans un autre tout (Mazouz, 2008).

Alexander (1971), s'intéressant aux problèmes de conception dans son essai *De la Synthèse de la forme*, indiquait que les problèmes de la conception commencent par des efforts pour arriver à la fin à une adaptation simultanée de deux entités : la forme considérée et son contexte (Alexander, 1971) ; Il considère que la forme isolée ne peut pas constituer un véritable objet de discussion, mais plutôt la forme dans son contexte, de plus, la pertinence d'une forme réside dans son adaptation au reste de l'ensemble.

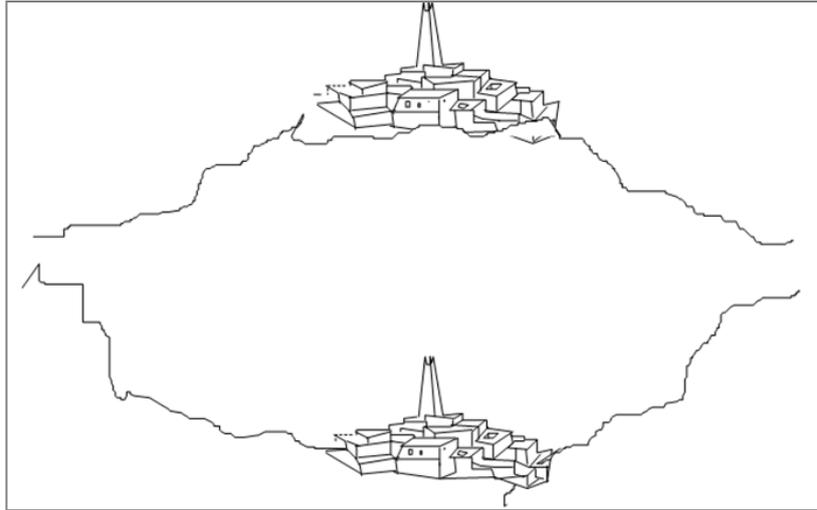


Fig I.1 : La forme dans son contexte (en bas) et hors son contexte (en haut)  
(Source : Mazouz, 2008)

Trois types de rapports entre la forme et son contexte sont à citer. Il s'agit de :

- **Rapports de production** : ce sont les rapports qui enracinent toute forme architecturale dans son contexte ; Les formes sont considérées ici comme des produits du contexte dans lequel elles sont insérées. L'exemple de l'enchaînement : pratiques sociales, configurations spatiales, configurations formelles, illustre ce rapport.
- **Rapports de référence** : du fait que la forme communique des rapports de référence avec d'autres formes ou avec des idées, son apparition est expliquée en se référant à ses modèles ; citant ici l'exemple de l'explication des formes de l'habitat en référence aux modèles culturels.
- **Rapports de signification** : il s'agit de la rétroaction des formes architecturales en tant que signe sur leur contexte (Borie, 2006).

#### I.2.4 La forme prend corps dans la matière :

Toutes les activités de l'homme, quelque soit le domaine, agissent sur la matière pour lui donner en résultat une forme. Du fait que chaque matière se distingue des autres par sa consistance, sa texture, sa couleur et qu'elle dispose d'une vocation qui inspire des formes, « *la matière impose sa propre forme à la forme ... la forme prend corps dans la matière* » (Focillon, 1943) et les formes se diffèrent alors par rapport aux matières qui les constituent.

Frank Lloyd Wright confirme cette idée : «*un édifice en pierre ne sera plus et ne rassemblera plus à un bâtiment en acier. Un bâtiment en terre cuite ne sera pas et ne rassemblera pas à un bâtiment en pierre. Un bâtiment en bois ne rassemblera à aucun autre, car il glorifiera le bâton. Un bâtiment en acier et verre ne peut pas ressembler à autre chose que lui-même. Il glorifiera l'acier et le verre...* » (Mies, 1998).

En outre, la technique de la mise en œuvre des matériaux peut agir sur la création de la forme architecturale.

### **I.2.5 La forme résultat d'une pensée :**

La matière peut déterminer la forme. Cependant, cette forme existante dans la matière existe d'abord dans l'esprit du concepteur, c'est un processus interne qui modèle et façonne la matière pour lui donner forme, «*en architecture, la conception commence par la production des idées et continue en les transformant en conformations spatiales concrètes* » (Mazouz, 2011).

### **I.2.6 La forme comme structuration de l'espace :**

Approche basée sur le rapport entre la forme et l'espace. La forme est perçue, ici, comme structuration de l'espace, comme enveloppe de cet espace.

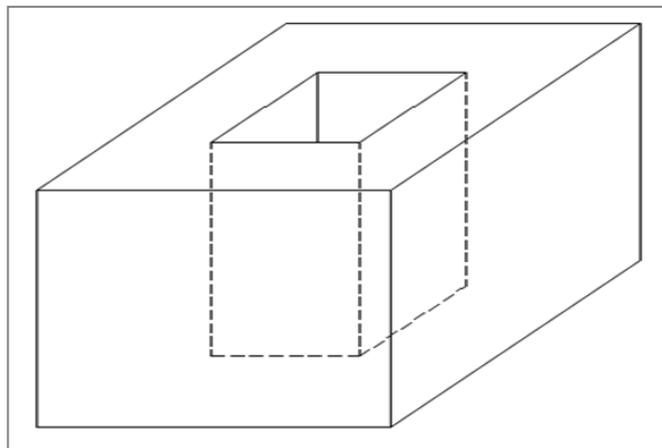


Fig I.2 : La forme comme structuration de l'espace  
(Source : Borie, 2006 réadapté par Auteur)

Ce point de vue est abordé par Ching (1979) dans ses travaux sur la forme ; il explique que ce lien existant entre la forme et l'espace se résume dans le fait que la forme, par ses éléments horizontaux et verticaux, peut définir l'organisation de l'espace. Ainsi, cette dernière peut prendre différentes dispositions ; centralisée, linéaire, radiale, en forme d'un groupe ou en forme d'une grille.

Cette vision, existait déjà chez les byzantins et les baroques, est la plus répandue aujourd'hui, et le concept de l'espace tend à remplacer celui de la forme dans la plupart des ouvrages de l'architecture (Borie, 2006).

### **I.2.7 Synthèse :**

« *La forme architecturale est le lien entre la masse et l'espace...* » (Bacon, 1974 cité par Ching, 1979), il s'agit d'une double structuration, à la fois de la matière et de l'espace, elle reflète une image par son architecture et remplit des exigences fonctionnelles pour les usagers auxquels le projet est destiné.

Aussi, la forme architecturale n'existe pas dans un champ délimité, mais plutôt elle fait référence à un ensemble, qui est la forme et son contexte, afin d'arriver à une adaptation réciproque, « *pour contrôler l'adaptation de la forme, considérée comme un tout, au contexte environnant, cette forme elle-même repose, en fait, à la fois sur sa propre organisation et sur l'adaptation interne des éléments qui la compose* » (Alexander, 1971). Ainsi, « *l'architecture réunit une forme construite, les matériaux par lesquels elle est mise en œuvre, le contexte où elle se situe et le rôle auquel est destinée* » (Mitchell, 1990 ; Young, 1986, cités par Belakehal, 2010).

En outre, la création de cette forme architecturale nécessite un fond de connaissances et d'expériences faisant chemin à une idée qui « *est essence de l'espace de conception et existence de l'espace architectural. Car si l'essence réclame l'existence, l'idée réclame l'objet* » (Hammou, 2010).

### **I.3 Processus de production de la forme architecturale :**

Le processus de conception est « *le processus conduisant à inventer des éléments physiques qui, en réponse à une fonction à assumer, proposent un nouvel ordre physique, une nouvelle organisation, une forme nouvelle ... l'objet final de la conception est la forme* » (Alexander, 1971), c'est un système complexe d'actions cognitives de manipulation de l'information qui prend lieu dans l'intellect et qui se prolonge dans l'action d'extériorisation figurative.

Bensaci (2000) a décrit le système d'architecture, à partir du système donné par Herbert Simon, comme un environnement interne (système primaire de l'architecture) et un environnement externe, les deux, reliés par une interface ; dans ce cas, ce système définit la

production architecturale en tant qu'enchaînement d'actions mentales, et le concept du système primaire de l'architecture désigne :

*« Un système productif multidimensionnel de fabrication de formes, de fonctionnements et de structures constructives, auquel le processus d'engendrement de ces derniers appartient. La forme, la fonction et la structure constructive caractérisant l'espace architectural passent nécessairement par la projection, l'installation et la réalisation du système primaire de l'architecture. Projection sous-entend penser, planifier, composer et concevoir. Installation sous-entend mise en œuvre des choix, déploiement des procès et mise en place des relations. Réalisation sous-entend produit et objet concret » (Bensaci, 2000 cité par Arrouf, 2006).*

#### **I.4 La forme et la sémantique :**

Lors de la conception architecturale, le concepteur véhicule une image mentale qui soit communiquée à travers la forme et participe sa propre émergence.

Shadkhou (2007), à travers une analyse de 23 projets architecturaux, tend à conclure qu'il existe ce rapport entre l'image mentale du concepteur et la forme produite ; il a révélé d'abord l'existence d'une idée qui influence le choix d'une telle forme puis d'une manière dont elle influence son émergence.

D'après son analyse, il a ressortis plusieurs idées : la structure, la vue, le climat, l'accès et la circulation, l'objectif technique, le paysage et l'environnement, la fonction, les symboles culturels ou religieux, etc. Ces idées sont ainsi formalisées par l'intermédiaire de différentes formes : la montagne, la fleur et les pétales, l'étoile, la pierre perforée, la goutte d'eau, le muscle, la bande de film, la bouche et l'oreille humaine, la colline, la crêpe, la vague, le vase, l'escargot, le coquillage, le fruit, le ballon, les bosses, les boursouflures, la roche, etc.

Le musée de Cantabrie en Espagne et le Forum de musique, de danse et de culture visuelle à Ghent, Belgique sont des exemples, dont le premier se confond avec un paysage de montagnes en utilisant des formes à contours irréguliers et dentelés, quant au deuxième, à travers ses espaces, il reflète l'image des labyrinthes d'une grotte, s'organisant en deux parties séparées, chacune des deux entités comporte une continuité verticale et horizontale.

Cette forme donne l'impression d'être à l'intérieur d'un organe digestif ou d'un instrument à vent (Shadkhou, 2007).

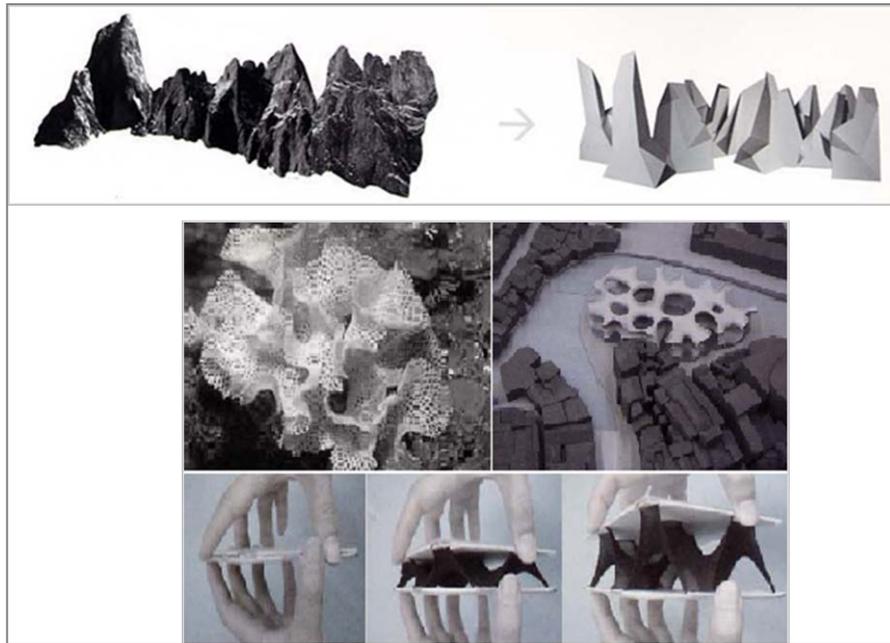


Fig I.3 : Le modèle du travail de musée de Cantabrie en Espagne (en haut) et du Forum de la musique, la danse et la culture visuelle à Ghent, Belgium (en bas) (Source : Shadkhou, 2007)

En outre, il a constaté que les moyens de leur réalisation sont décrits à travers des verbes d'actions comme : ondulation d'une bande ou d'une surface, plier, fusionner, bosser, boursoufler, gonfler, courber, entrelacer, tordre, ... une surface ou l'ensemble du volume.

## **I.5 Facteurs influençant la production de la forme architecturale :**

La forme des bâtiments a évolué à travers les temps, suivant plusieurs facteurs, un édifice manifeste l'interaction de nombreux facteurs complexes (Rapoport, 1972). Parmi ces facteurs, nous pouvons citer :

### **I.5.1 L'environnement physique :**

Composé de plusieurs paramètres tels les données du site d'implantation et les données climatiques, l'environnement physique porte des traces dans le choix de la forme architecturale et conditionne sa production ; la topographie, le type du sol, la végétation, l'écoulement des eaux, le climat et microclimat, l'environnement proche, etc. La Casbah d'Alger en est un exemple, son site se caractérise par un relief accidenté, ouvert sur la mer,

l'implantation des constructions en gradins s'était imposée comme solution pour l'adaptation avec le site et l'offre des vues ouvertes sur la mer. Un autre exemple est la vallée du Mzab qui représente une meilleure intégration avec la topographie du site, répondant ainsi au caractère du site en pente et favorisant, en même temps, une meilleure adaptation aux facteurs climatiques à travers l'utilisation des cours et patios, les rues étroites, les façades presque aveugles, etc.



Fig I.4 : La vallée du Mزاب : Beni Isgen, Melika et Ghardaïa  
(Source: Auteur, 2011)

Le rôle des variables physiques dans le processus de génération des formes est étudié par plusieurs auteurs. Rapoport (1972) explique que l'influence du site comporte deux volets ; sa nature physique et les valeurs symboliques, religieuses ou culturelles et leurs conséquences, il affirme aussi que « *le climat est un aspect important des forces génératrices de formes et il a des effets importants sur les formes que l'homme peut désirer se créer* » (Rapoport, 1972). Les effets du climat sur une conception architecturale portent sur la définition des choix morphologiques, son orientation par rapport au soleil et aux vents, son degré d'ouverture ou de fermeture, ainsi que les choix des matériaux et leur mise en œuvre, ces choix qui sont autant limités que les contraintes climatiques soient plutôt sévères. Les exemples les plus connus qui servent à ce contexte sont l'igloo du Grand Nord américain dans l'Arctique, les maisons de terre et de pierre dans le désert, les constructions à plancher surélevé et les larges débords de toiture ainsi que l'absence des murs dans les tropiques humides. Un autre exemple est la hutte des Mosgoum<sup>1</sup> : sa forme

<sup>1</sup> Tribu africaine du Nord du Cameroun francophone.

en hémisphère présente une efficacité en minimisant la propagation de chaleur et assurant une protection raisonnable de l'intérieur contre la chaleur du soleil équatorial (Rapoport, 1972 ; Alexander, 1971).

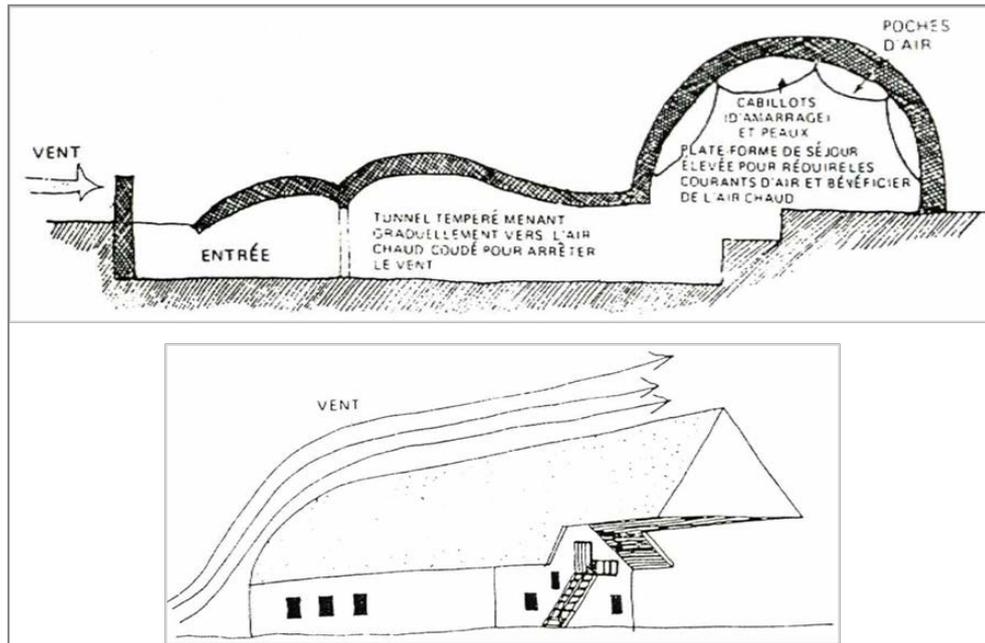


Fig I.5 : Schéma en coupe de l'igloo (en haut) et la ferme en Normandie (en bas)  
(Source : Rapoport, 1972)

### I.5.2 L'environnement technique :

La technique a toujours influencé les formes de constructions. « *Pour se réaliser, l'architecture a besoin de la technique. Avec son aide, elle revêt une forme et devient l'expression construite de son temps ... Sans la technique, le Parthénon et l'Art Gothique n'auraient jamais existé* » (Curt Siegel, 1966).

Les formes architecturales se développent au fur et à mesure avec les progrès techniques ; la mise au point de nouveaux procédés, la découverte de nouveaux matériaux et le développement des savoir-faire participent à l'émergence de nouvelles formes.

D'un autre côté, les prescriptions religieuses peuvent ainsi avoir une influence sur l'utilisation des matériaux. Dans certaines régions l'Inde, l'utilisation de la brique et des tuiles était interdite pour les maisons, tandis que le bois était exclu des temples sauf pour la porte (Rapoport, 1972).

Les développements technologiques et techniques sont aussi liés à des changements économiques, qui, eux, influencent à leur tour les formes architecturales ; comme la rentabilité du foncier, qui limite la taille de la parcelle et conduit parfois à certains types

architecturaux, et les enveloppes budgétaires dégagées pour le projet sont aussi une autre contrainte dans la recherche de la forme du projet.

### **I.5.3 L'environnement socio-culturel :**

L'environnement socio-culturel est représenté par les données sociales, culturelles, éthiques et religieuses, il peut influencer la production architecturale ; de même, l'architecture possède une portée sociale ; sa production informe non seulement sur l'évolution de l'homme, mais aussi sur son mode de vie, sa vision du monde, ses valeurs, ses croyances, sa manière d'être, elle est aussi le témoin privilégié de son organisation socio-spatiale, le reflet de l'identification et de l'appartenance de l'homme à son endroit et son contexte socio-culturel. La production architecturale peut se définir, donc, comme la projection d'une culture de la société.

L'exemple des regroupements des huttes des Mosgoum reflète un ordre social qui gouverne les habitants.

*« La hutte de chaque notable est entourée par les huttes de ses femmes et de ses subordonnées, comme l'exige les us sociaux, et de telle manière au surplus que ces huttes subordonnées forment comme une muraille autour de la hutte du chef, la protégeant ainsi tout en se protégeant mutuellement contre les bêtes fauves et les envahisseurs » (Alexander, 1971).*

Ainsi, il faut noter que le développement, au sens large, s'accompagne généralement d'un bouleversement des structures sociales et culturelles, dû à l'introduction de nouveaux systèmes de production.

La religion, à son tour, affecte la forme, le plan, l'organisation spatiale et l'orientation des bâtiments, *« c'est peut être son influence qui a conduit à l'existence de maisons rondes et rectangulaires ... En Afrique la distribution des maisons rondes et rectangulaires est fonction de la répartition des religions » (Rapoport, 1972).*

L'église gothique est un exemple explicatif de l'influence de la religion sur les formes du bâti, elle exprime cette relation divine entre les fidèles et leur Dieu.

*« La structure et la forme de l'église gothique envoient un message manifeste et univoque. L'élévation et l'élancement des voûtes doivent rapprocher les fidèles de leur Dieu ; les lumières multicolores douces, traversant les vitraux, symbolisent, à leur tour, la grâce divine descendant sur la foule des fidèles » (Vito, 1992).*

En outre, pour les dynasties islamiques successives, l'architecture est le moyen le plus efficace et privilégié pour marquer leur passage et exprimer leur pouvoir.

*« Très souvent, le même édifice, exprime dans sa totalité une variété de styles dans le temps. Il est constitué d'une variété d'éléments appartenant à des styles différents, dans la mesure où chacun des princes, ou chacune des dynasties, y rajoutait un élément ou une partie ... le cas de mosquée d'Ibn Touloune en Egypte et la grande mosquée de Cordoue »*  
(Benyoucef, 2010)

Un autre exemple qui se rapporte aussi à cette idée est la forme introvertie de la maison des musulmans avec des façades aveugles qui fait référence à la délimitation de l'enclos sacré et intime.

#### **I.5.4 L'environnement historique :**

Chaque site est caractérisé par l'empreinte de l'histoire. Connaître l'histoire d'un lieu c'est saisir son identité ; l'architecture ne se trouve jamais dans le vide, dans un espace sans histoire.

La forme d'un projet architectural peut se référer à l'histoire d'un site pour retirer ses traits caractéristiques, reflétant et revalorisant des modes de créations antécédents. La forme est donc censée représenter l'histoire d'une époque.

*« Toute œuvre architecturale s'implante dans un lieu ; elle transforme un paysage (naturel ou urbain) ; elle s'inscrit dans un horizon temporel. Elle s'intègre - ou se superpose - à un cadre spatial hérité du passé et va, à son tour, représenter un artefact - une mémoire objectivée – d'une époque et des conditions de vie d'une société pour un temps à venir »*  
(Vito, 1992).

La forme est, donc, supposée comme représentation et exposition de l'histoire d'un lieu, un contexte et une époque, établissant ainsi un rapport et un lien entre passé, présent et futur.

#### **I.5.5 Les sources internes du concepteur :**

La personnalité individuelle, les sources internes et les intuitions du concepteur peuvent ainsi influencer la génération de la forme architecturale. Cela peut expliquer pourquoi l'ensemble des travaux d'un même architecte montre des similitudes malgré des exigences fonctionnelles différentes (Boussora, 2009).

### I.5.6 Synthèse :

« *La forme n'est pas simplement le résultat de forces physiques ou de tout autre facteur causal unique* » (Rapoport, 1972), mais plutôt la conséquence des changements et des variances des divers facteurs d'ordre physique, technique, socioculturels et historiques. Ces facteurs influencent et modifient la génération de la forme architecturale, cela est témoigné par les réponses architecturales diverses des peuples, aux différents attitudes et idéaux, à des environnements variés.

Ces facteurs, auxquels s'ajoute la tâche du concepteur, influencent et modifient la génération de la forme architecturale, tout en limitant ou favorisant sa production.

## I.6 Classifications typologiques des formes architecturales :

Diverses études tendent à classifier et maintenir une typologie des formes architecturales produites. Ibrahim. M (1998) a énuméré un nombre de classification typologiques à travers les travaux de certains auteurs qui s'intéressent à l'étude de la forme, d'abord, il a entamé une première classification issue en fonction de la nature d'étude et ses objectifs comme suit :

- **Selon la fonction** : quelques études s'intéressent à classifier les formes des bâtiments selon leurs fonctions. Le but d'une telle classification est de comparer les méthodes différentes par lesquelles les concepteurs arrivent à des solutions conceptuelles pour répondre à des besoins semblables des clients. Dans ce type de classification, des hôpitaux, des écoles, des habitations, des immeubles de bureaux, des stades, etc. sont étudiés ensembles.
- **Selon la structure** : le critère de base de ce type de classification est le système structurel, en distinguant entre les systèmes poteau-poutre, murs porteurs, de faisceau, de la structure en câbles, de la structure de coquille, etc.
- **Selon le style** : les architectes historiens trouvent utile de classifier les formes des bâtiments selon leurs styles. Cette classification peut inclure par exemple : le grec, le romain, le byzantin, l'islamique, le gothique, la renaissance, le moderne, etc. Chacune de ces dernières classifications peut, à son tour, être divisée en un nombre de sous-styles pour tenir du fait les variations présentes au sein d'un même style.

Ensuite l'auteur a cité quelques recherches établissant des classifications typologiques des formes architecturales. Et enfin, il a expliqué son propre point de vue à ce propos.

### I.6.1 Première classification (Ching, 1979) :

Ching (1979), dans son ouvrage « *Architecture, Form, Space and Order* », a fait la distinction entre les formes régulières et les formes irrégulières.

- **Les formes régulières** : sont celles dont les parties sont liées l'une à l'autre d'une façon cohérente et ordonnée. Elles sont généralement stables en nature et symétriques par rapport à un ou plusieurs axes. La sphère, le cylindre, le cône, le cube, et la pyramide sont des exemples typiques des formes régulières. Pour Le Corbusier, ces derniers sont « *les grandes formes primaires que la lumière indique à l'avantage ; l'image de ces derniers est distincte et réelle chez nous et sans ambiguïté. C'est pour cette raison que ce sont de belles formes, les formes les plus belles* » (Ching, 1979).

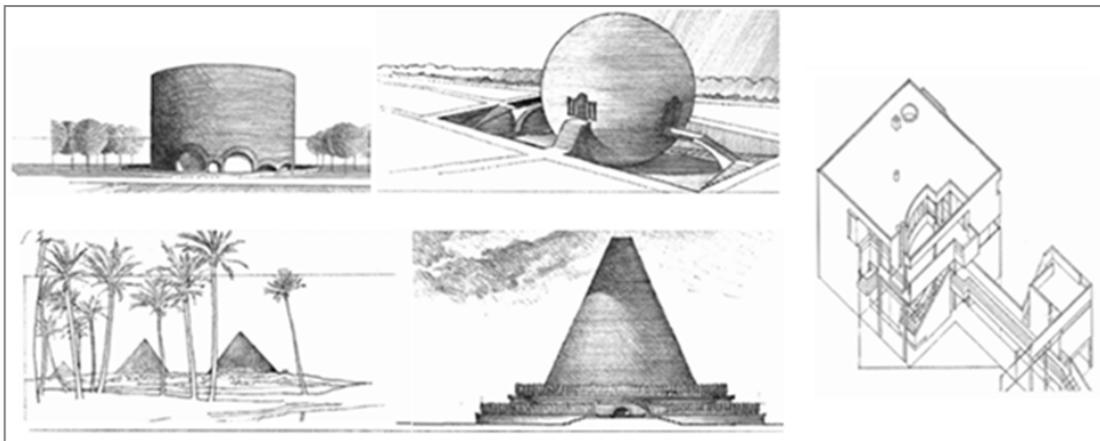


Fig I.6 : Quelques exemples de formes régulières des bâtiments  
(Source : Ching, 1979)

- **Les formes irrégulières** : sont celles dont les parties sont différentes en nature et sont liées l'une à l'autre d'une façon contradictoire, elles sont généralement asymétriques et plus dynamiques que les formes régulières. Elles peuvent être des formes régulières dont des éléments irréguliers ont été soustraits ou résultent d'une composition irrégulière des formes régulières.

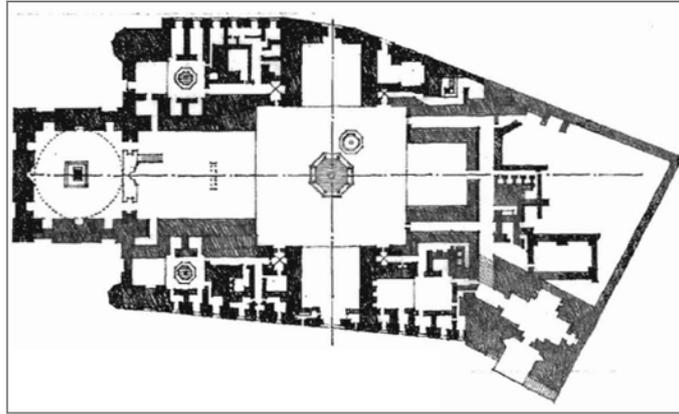


Fig I.7 : La Mosquée Sultan Hassan au Caire ; une composition irrégulière des formes régulières (Source : Ching, 1979)

Ainsi, les formes régulières peuvent être contenues dans des formes irrégulières et vice versa.

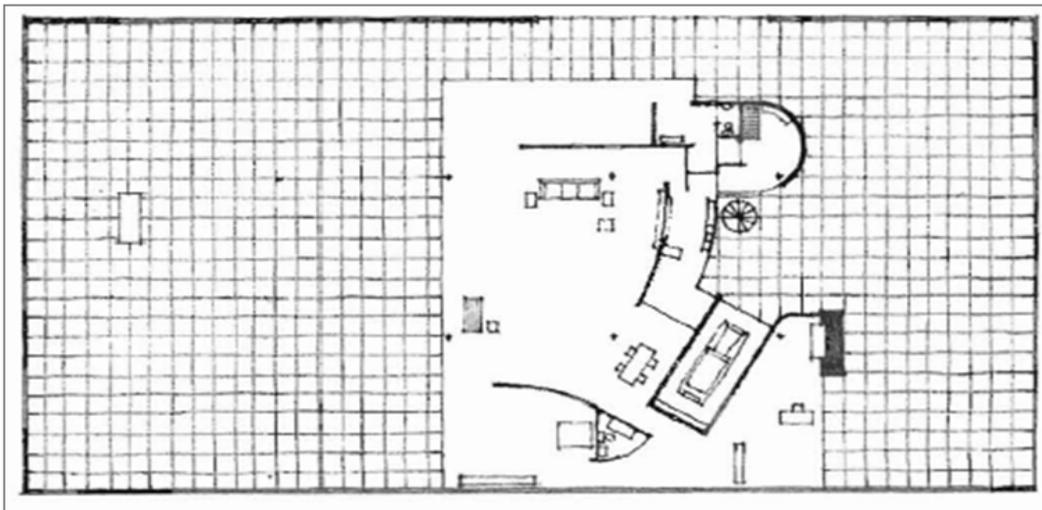


Fig I.8 : Projet de maison à cour, Mies van de Rohe ; Formes irrégulières dans un champ régulier (Source : Ching, 1979)

Il a, aussi, classifié les formes en se basant sur la nature des transformations qu'elles subissent, tout en partant des solides primaires. L'auteur a expliqué que toutes les autres formes sont issues des transformations des solides primaires, ces transformations peuvent être dimensionnelles ou formelles.

- **Transformations dimensionnelles** : quand une ou plusieurs dimensions d'une forme sont modifiées, soit par le changement de longueur, de largeur, ou de profondeur, soit par l'étirement ou la compression de l'un des éléments de la forme.

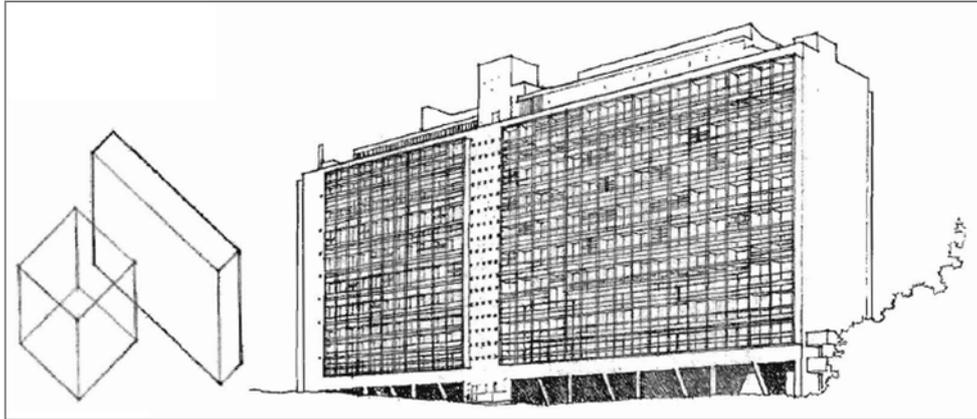


Fig I.9 : Unité d'habitation de Le Corbusier ; Transformation dimensionnelle d'un cube à une plaque verticale (Source : Ching, 1979)

- **Transformations formelles** : elles peuvent être réalisées par la soustraction d'une portion du volume de la forme, ou par l'addition d'éléments à ce volume.

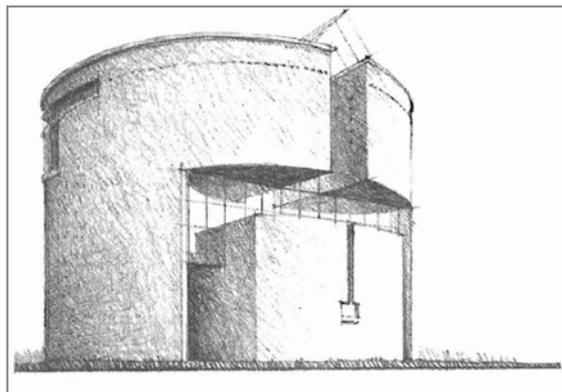


Fig I.10 : Habitation à Switzerland de Mario Botta ; transformations formelles soustractives de la forme (Source : Ching, 1979)

Le Corbusier a décrit les formes soustractives comme « *Very generous, on the exterior an architectural will is confirmed, on the interior all functional needs are satisfied (light penetration, continuity, circulation)* » (Ching, 1979).

Les formes additives résultent de l'accrétion des éléments discrets pouvant être caractérisées par leur capacité de se développer et fusionner avec d'autres formes.

Ces formes peuvent être divisées en cinq (05) catégories selon leurs dispositions:

- Disposition centralisée : un certain nombre de formes secondaires sont groupées autour d'une forme dominante et centrale.

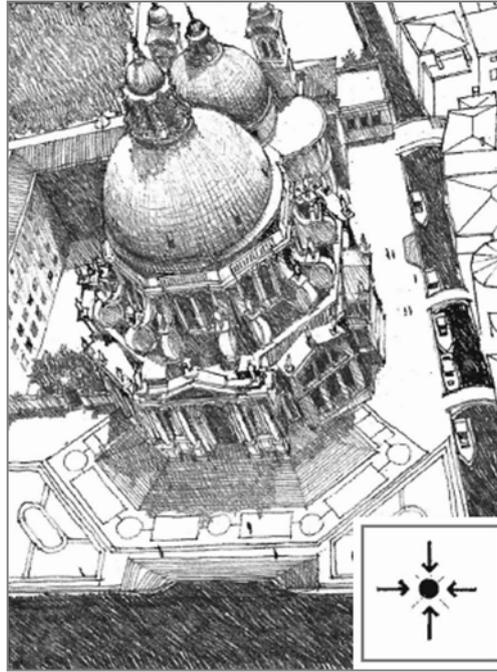


Fig I.11 : S. Maria Della Salute à Venise  
(Source : Ching, 1979)

- Disposition linéaire : une série de formes arrangées séquentiellement sur une ligne.

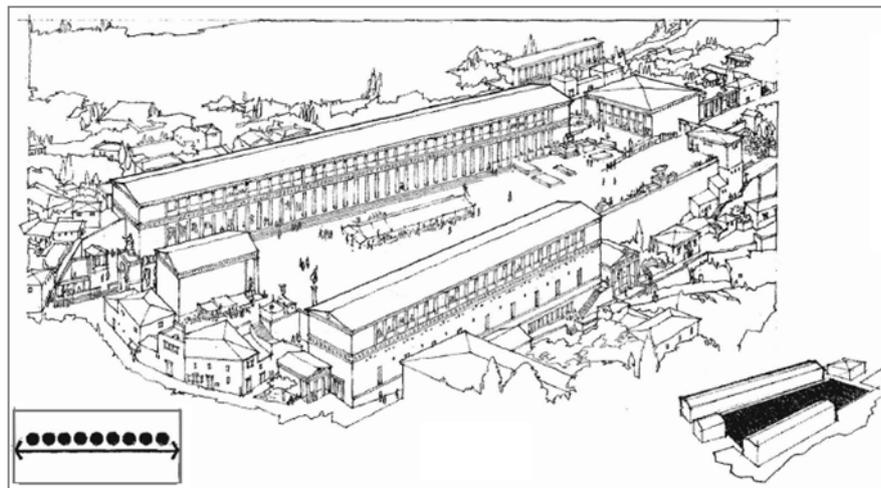


Fig I.12 : Agora d'Assos, Asie mineure  
(Source : Ching, 1979)

- Disposition radiale : une composition des formes linéaires se prolongeant à l'extérieur d'une forme centrale d'une façon radiale.

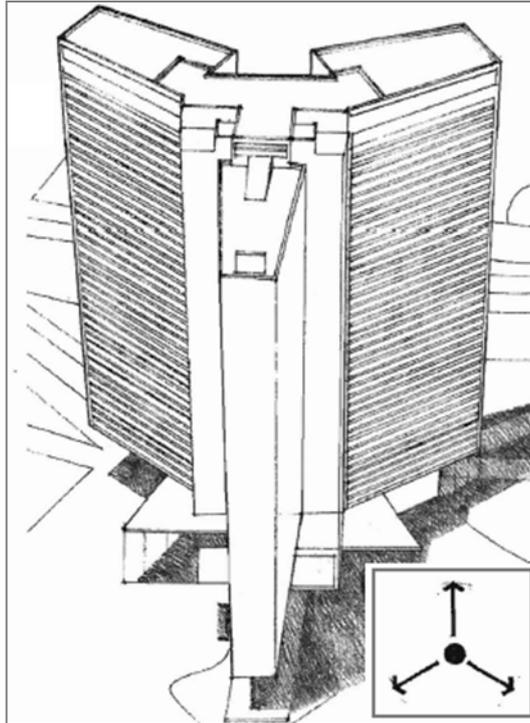


Fig I.13 : Gratte ciel sur la mer, Alger, Le Corbusier  
(Source : Ching, 1979)

- Disposition groupée : une collection de formes groupées ensemble par la proximité ou le partage d'un trait visuel commun.

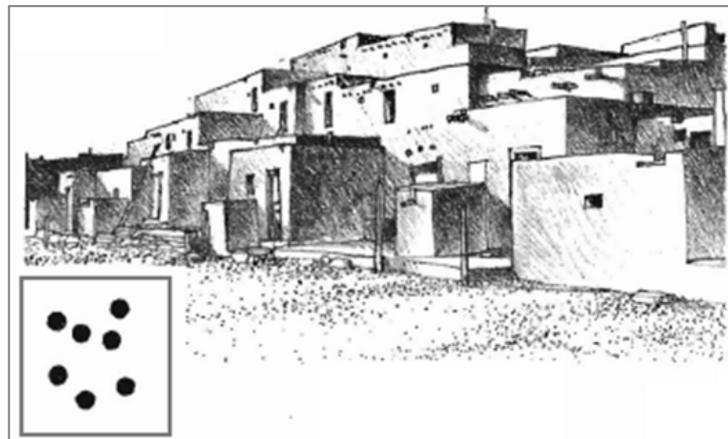


Fig I.14 : Taos Pueblo, Mexique  
(Source : Ching, 1979)

- Disposition en grille : un ensemble de formes modulaires connexes et réglées par une grille tridimensionnelle.

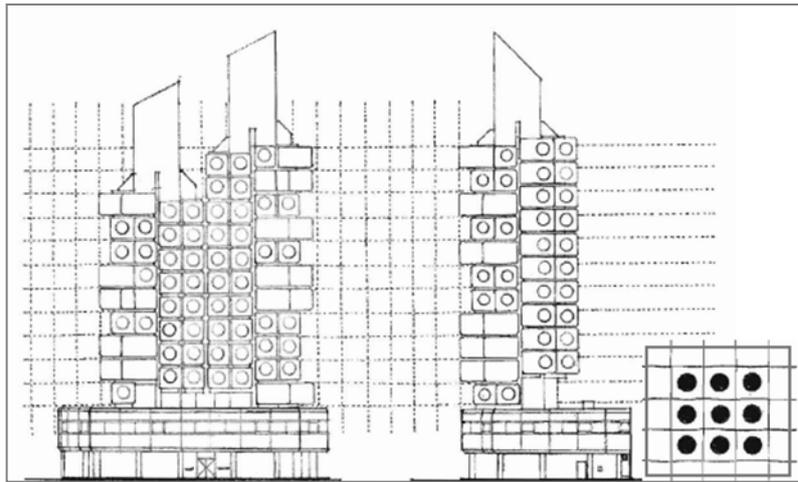


Fig I.15 : Bâtiment de capsule de Nakagin, Tokyo, Kicho Kurokawa  
(Source : Ching, 1979)

**I.6.2 Deuxième classification (Martinsen, 1976) :**

L'auteur a classifié les formes des bâtiments en les catégories mentionnées dans le tableau suivant :

Catégories	Exemples
Caverne	Le temple égyptien
Crystal	Les monuments tels que les pyramides et les temples doriques grecs
Tunnel et Tube	L'église romane
Poteau et Puit	Les tours, les puits et les tombes
Boite et Cage	La plupart des bâtiments sont des boites, qui peuvent être polygonales, cylindriques ou une combinaison géométrique
Camp	Le temple grec est une boite dans un camp
Ruche et Nid d'abeille	La première représente une forme libre clôturée telle que les huttes et les églises voutées. Pour la dernière, des bâtiments modernes avec des unités répétitives

Cellule et Faisceau	Conception non géométrique telle que la chapelle de Ronchamp
Pont et Barricades	Le pont Vecchio à Venise, les forteresses, les monastères et les prisons
Tente et Auvent	L'hémisphère géodésique, les tentes, les églises voûtées en bois et les stades

Tableau I.1 : Classification typologiques des formes selon Martinsen (1976)  
(Source : Ibrahim, 1998 réadapté par Auteur)

### **I.6.3 Troisième classification (Krier, 1988) :**

Krier (1988) a commencé son étude à partir de 18 formes de base qui résultent de l'interaction de trois types primaires de bâtiments et six (06) formes architecturales primaires, il soumet ces formes à cinq (05) opérations pour arriver à 90 formes résultantes différentes ; ces opérations sont : torsion et flexion, division, fracture ; segmentation, fragmentation ; addition, accumulation ; pénétration, superposition et imbrication.

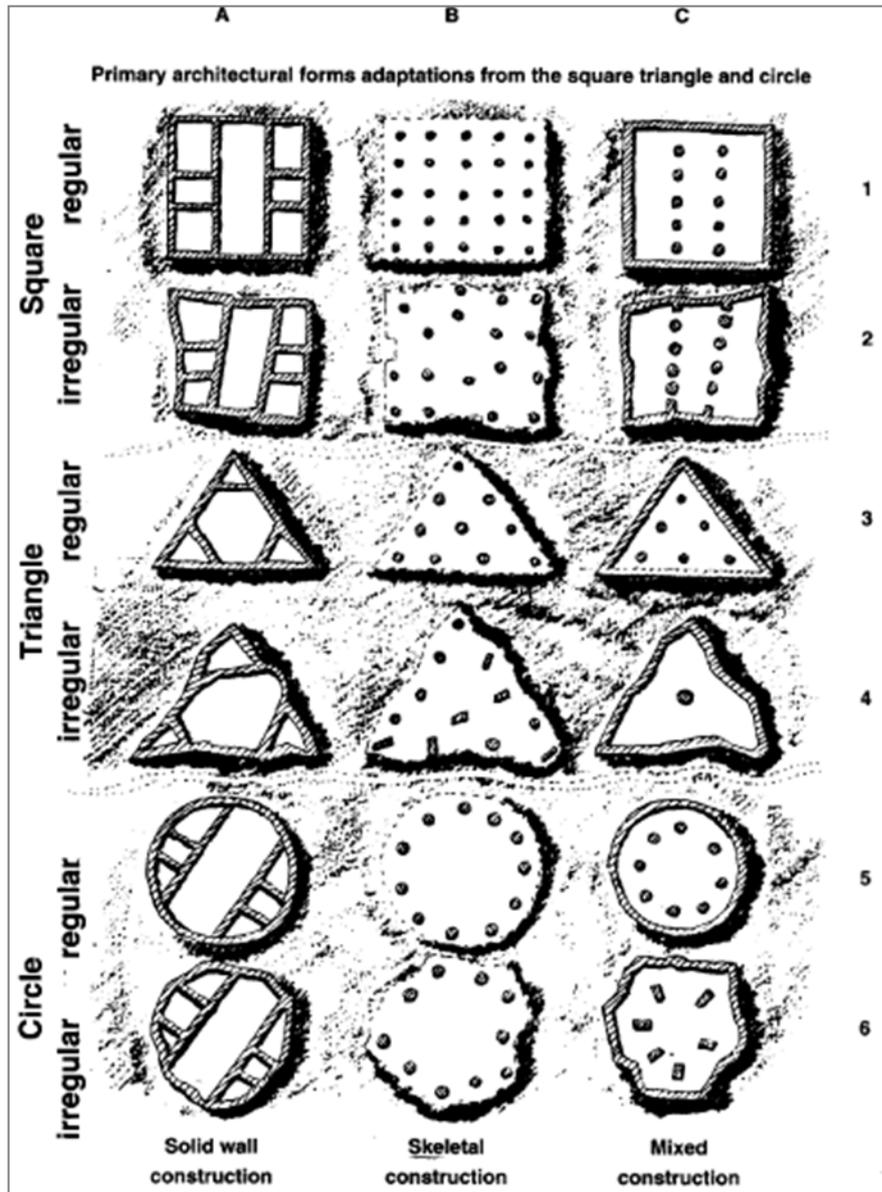


Fig I.16 : Exemples théoriques des types primaires de bâtiments selon Krier  
(Source : Ibrahim, 1998)

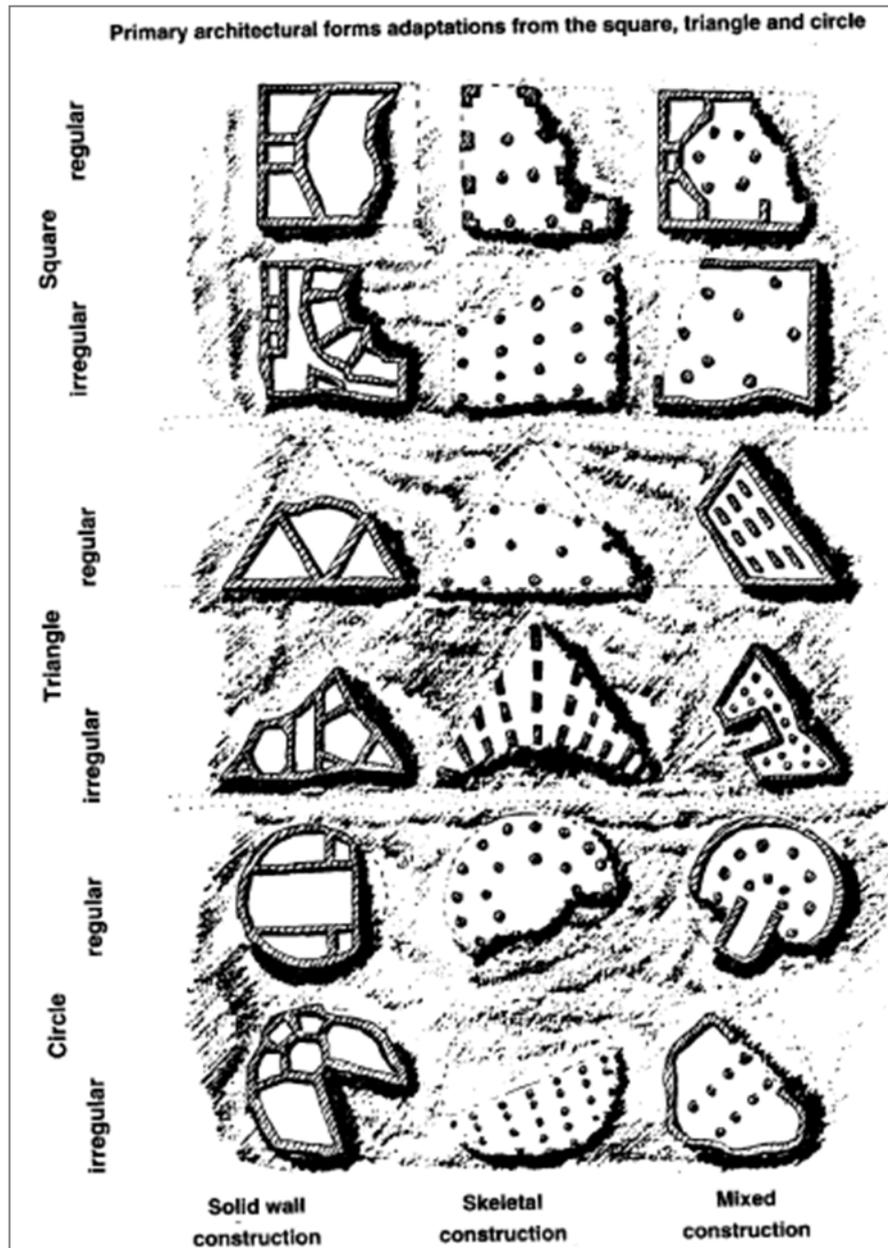


Fig I.17 : Exemples théoriques des fragments de bâtiments selon Krier  
(Source : Ibrahim, 1998)

Ibrahim. M (1998) a adressé quelques critiques pour chacune de ces classifications. La première (Ching, 1979) est considérée comme assez raffinée ne prenant pas en compte les différences significatives entre les diverses formes. Ainsi, beaucoup de formes ne sont pas incluses dans cette classification (exp : le Centre George Pompidou) ; la deuxième (Martinssen, 1976) est jugée non systématique ; plusieurs et différentes catégories de bâtiments sont groupées sous le type intitulé « boîte », de plus les mêmes bâtiments sont classifiés simultanément sous deux types distincts ; pour la dernière (Krier, 1988), sa principale préoccupation semble être l'organisation du bâtiment et non pas l'impact visuel

sur l'observateur. Selon les croquis illustratifs, quelques formes sont susceptibles d'être considérées comme semblables pour un observateur qui n'a pas vu l'organisation intérieure du bâtiment, il paraît que pour Krier, la forme du bâtiment signifie plutôt son organisation intérieure.

#### I.6.4 Quatrième classification (Ibrahim, 1998) :

L'auteur a indiqué que l'étude de la typologie des formes des bâtiments renvoie au principe que la forme architecturale est le résultat de deux facteurs principaux : la forme tridimensionnelle globale du bâtiment et le type de son enveloppe.

Il a classifié l'enveloppe, qui est habituellement composée du toit, murs et planchers, en deux types principaux :

- **Type mur dominant** : dans ce type, qui est le plus répandu, les murs sont la partie la plus évidente du bâtiment et le toit ne joue pas un rôle significatif dans l'impact visuel ;
- **Type toit dominant** : ici, le toit est visuellement saillant, il domine le bâtiment. Trois cas sont à citer ; le bâtiment n'a aucun mur, le bâtiment est partiellement enfermé, le bâtiment est entièrement enfermé mais le toit est visuellement très dominant.

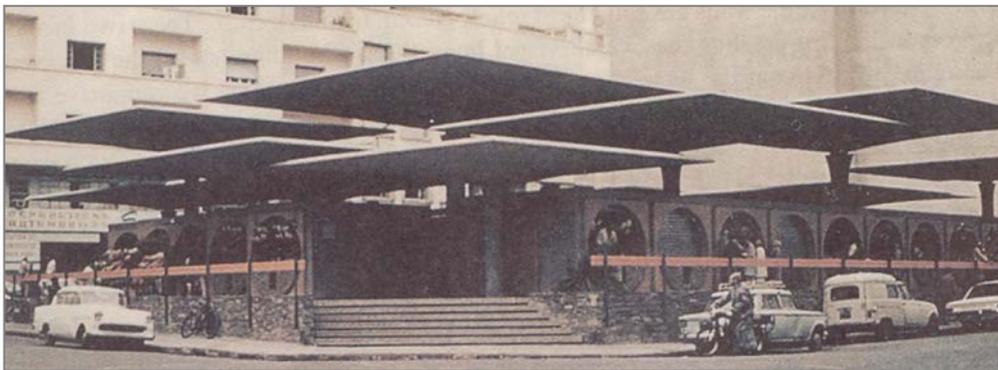


Fig I.18 : Marché végétal à Casablanca, Maroc ; Exemple de bâtiments à toit dominant  
(Source : Ibrahim, 1998)

Quant aux formes, il les a classées en quatre catégories principales :

- **Formes rectilignes** : caractérisées par leurs surfaces plates non courbées, elles sont généralement des formes régulières, et peuvent être classées en formes rectilignes simples, multiples et combinées.



Fig I.19 : Logement conçu par Mose Safadie dans l'expo 67 ;  
Exemple des formes rectilignes multiples enclenchées  
(Source : Ibrahim, 1998)

- **Formes curvilignes** : se caractérisent par des surfaces courbées. Elles peuvent être classées en formes simples et multiples.
- **Formes organiques** : se caractérisent par leurs ressemblances à des formes inspirées de la nature, elles sont généralement plus complexes que les formes rectilignes aussi bien que les formes curvilignes.
- **Formes composées** : cette catégorie englobe un nombre de combinaisons possibles de types cités ci-dessus.



Fig I.20 : Centre du sport de Belgrade ; Exemple des formes combinées  
(Source : Ibrahim, 1998)

L'auteur a expliqué que sur la base de l'étude de l'interaction forme / enveloppe, on peut arriver à un résultat raisonnables de classification typologiques des formes de bâtiments.

## Conclusion :

La forme architecturale est le lien entre la masse et l'espace, elle est une double structuration, à la fois de la matière et de l'espace, elle reflète une image par son architecture et remplit des exigences fonctionnelles pour les usagers. Elle n'existe pas dans un champ délimité, mais plutôt elle fait référence à son contexte.

Ainsi, créer cette forme architecturale nécessite un fond de connaissances et d'expériences faisant chemin à une idée, le concepteur véhicule une image mentale qui soit communiquée à travers la forme qui participe à son émergence même.

En outre, la création de la forme architecturale est influencée par une multitude de paramètres qui peuvent limiter ou favoriser sa production, en d'autres termes, la forme produite est le résultat de la synthèse de plusieurs paramètres, « *la forme prise comme un tout, sa qualité prise comme un tout, voilà ce qui est intéressant* » (Judd, 1965 cité par Lucan, 2009) et « *l'œuvre architecturale atteint sa vraie grandeur grâce à la synthèse des constituants multiples en un seul projet final* » (Mies, 1998).

De plus, l'étude des classifications des formes architecturales permet leur compréhension d'une façon plus approfondie.

Enfin, nous rappelons que la présente recherche s'intéresse plutôt à l'étude de la forme dans son contexte et les facteurs faisant l'objet d'étude sont ceux d'ordre physique et technique spécialement.

# CHAPITRE II :

## CONFORT HYGROTHERMIQUE

*« Il faut un minimum du confort pour  
pratiquer la vertu »*

Thomas Aquinas

## **Introduction :**

Actuellement, le confort hygrothermique est considéré comme une exigence qui présente un souci majeur dans les bâtiments du fait de son impact sur la qualité des ambiances intérieures, la santé, le bien-être et la rentabilité de l'occupant passant les trois quarts de son temps à l'intérieur.

L'objectif du présent chapitre est de clarifier la notion du confort hygrothermique à travers la présentation de ses différentes définitions et facteurs qui l'influencent révélant son interdisciplinarité.

Son étude et évaluation développée selon l'intérêt croissant qu'il suscite, de jour en jour, nous a indiqués la nécessité d'énumérer un nombre d'indices et méthodes d'évaluation qui se présentent comme base pour le développement d'outils d'évaluation récents plus raffinés et sophistiqués. Ainsi, nous allons étaler les deux approches principales les plus utilisées pour son étude ; à savoir l'approche analytique et celle adaptative.

## II.1 Généralités sur la notion du confort hygrothermique :

### II.1.1 Confort thermique :

Pluridisciplinaire, défini par la norme internationale ISO 7730 comme étant la satisfaction exprimée quant à l'ambiance thermique, il est tout ce qui contribue à la création d'une ambiance thermique rassurant le bien-être, et s'exprime par une sensation agréable procurée par la satisfaction de besoins physiologiques (l'absence de contraintes thermiques imposées aux mécanismes thermorégulateurs du corps humain, l'obtention des conditions favorables pour tous les systèmes fonctionnels de l'organisme et la garantie d'un niveau élevé de capacité du travail, l'assurance d'un bilan équilibré entre les échanges thermiques du corps humain et de l'ambiance environnante) et l'absence de tensions psychologiques (Cantin, 2005 ; Evans, 1980). Ainsi, « *il peut être défini dans un sens négatif, comme l'absence de gêne ou d'inconfort dû à la chaleur ou au froid, ou dans un sens positif comme un état engendrant le bien-être* » (Givoni, 1978).

### II.1.2 Confort hygrothermique :

Le confort ne dépend pas seulement du paramètre de la température mais aussi de l'hygrométrie de l'air intérieur ; une humidité faible ou élevée rend l'ambiance inconfortable ; lorsqu'elle est inférieure à 20%, elle provoque la sécheresse et le picotement ; lorsqu'elle est supérieure à 80%, elle cause la sensation d'étouffement chez l'individu.

Ces derniers temps, le confort « hygrothermique » ou « thermo hygrométrique » est devenu la nouvelle appellation utilisée par les nouvelles tendances apparues à travers le monde. Reconnu comme la 8<sup>ème</sup> cible de la Haute Qualité Environnementale « HQE » sous la notion de « *Ni chaud ni froid, ni humide ni sec* », le confort hygrothermique est défini comme étant la sensation que ressent une personne par rapport à la température et à l'humidité ambiante.

Ce confort est abordé par sa propre définition et par celle des différents facteurs et paramètres qui prennent part dans son évaluation, bien qu'il est évident que la notion de confort hygrothermique présente un aspect physique qui est « *le trait d'union entre le monde physique et l'individu, parce que ses lois traduisent les sensations du biologique (le corps) par rapport au non biologique (l'ambiance thermique)* » (Depecker, 1985), elle est aussi relative à de la psychologie et la sociologie.

## II.2 Facteurs qui influencent le confort hygrothermique :

D'un côté physique, le confort thermique se traduit par un équilibre entre les gains et les pertes de chaleur du corps humain en rapport avec son milieu environnant, cet équilibre dépend de six (06) facteurs.

### II.2.1 Facteurs liés à l'individu :

#### II.2.1.1 Le métabolisme et l'activité :

Il s'agit de l'ensemble des réactions chimiques qui se produisent dans le corps, et libèrent une chaleur interne permettant de maintenir le corps humain à une température autour de 36.7°C. Lorsqu'une personne est en mouvement, un métabolisme de travail correspondant à son activité particulière s'ajoute au métabolisme de base du corps au repos. L'unité couramment utilisée est le MET (Metabolic Equivalent of Task) qui correspond à l'énergie moyenne dépensée par une personne pendant une activité physique. 1 MET = 58 w/m<sup>2</sup>.

#### II.2.1.2 L'habillement :

La résistance thermique aux échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement est assurée par les vêtements qui « *constituent une barrière aux échanges de chaleur convective et radiative entre le corps et son environnement, ils réduisent aussi la sensibilité du corps aux variations de la température et de la vitesse de l'air* » (Givoni, 1978).

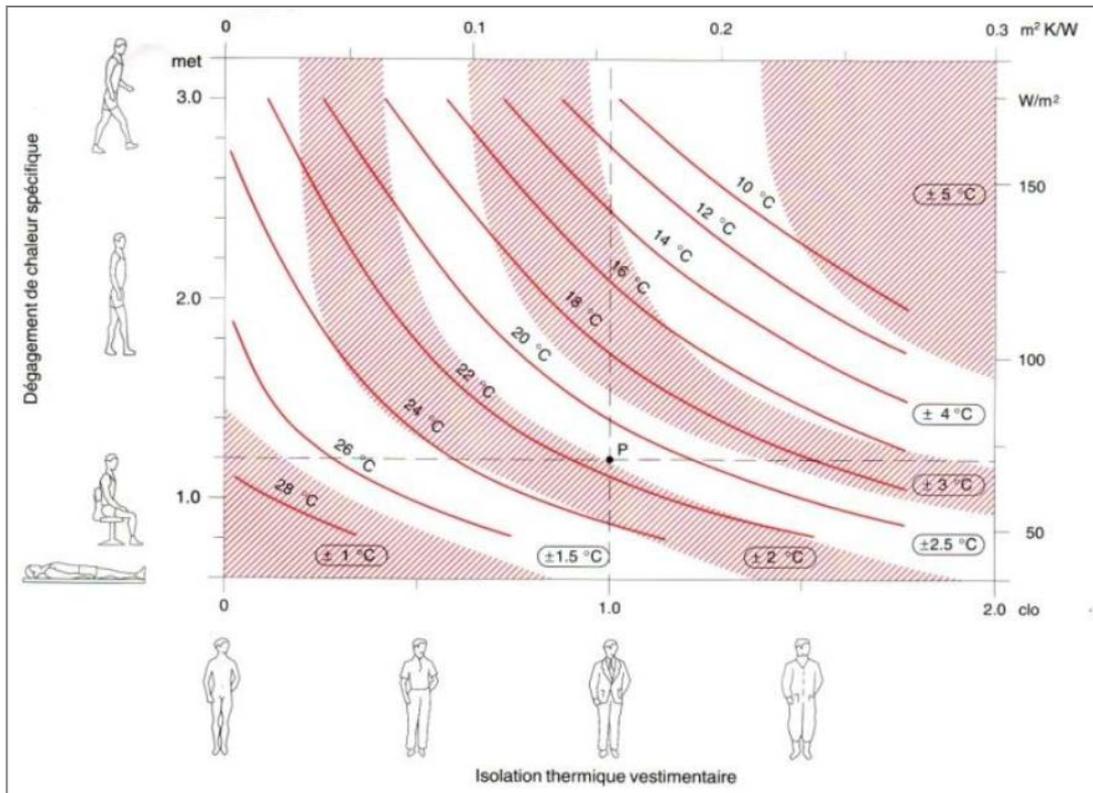


Fig II.1 : Relation entre l'isolation thermique et le dégagement de la chaleur spécifique du corps humain (Source : www.batitherm.ch)

## II.2.2 Facteurs liés à l'environnement :

L'environnement thermique est caractérisé par quatre grandeurs physiques (la température de l'air, la température du rayonnement, l'humidité relative et la vitesse de l'air).

### II.2.2.1 Température de l'air :

Elle correspond au paramètre dominant et plus influant sur le confort thermique, elle contrôle directement les échanges par convection qui représentent l'un des termes principaux du bilan thermique.

Les études montrent qu'une réduction de 1°C de la température de l'air en période chaude permet d'économiser jusqu'à 10% d'énergie.

### II.2.2.2 Température des parois :

Les parois d'un local, du fait qu'elles représentent des différences de températures, échangent de la chaleur entre elles par rayonnement, cette grandeur est utilisée dans le calcul des échanges radiatifs de grande longueur d'onde entre l'individu et son environnement.

Le couplage de la température du rayonnement ou température des parois avec la température de l'air détermine la température opérative ou résultante.

### II.2.2.3 Humidité relative de l'air :

Elle se définit comme « *le rapport exprimé en pourcentage entre la quantité d'eau contenue dans l'air à la température ambiante et la quantité maximale qu'il peut contenir à cette température* » (Liébard, 2005). Elle influence la capacité du corps humain à éliminer la chaleur excédentaire. Entre des valeurs de 30-70%, l'humidité relative pèse peu sur la sensation thermique. Cependant dans des conditions extrêmes avec des températures élevées, une humidité très élevée rend les échanges par évaporation difficiles voire impossibles vers l'environnement entourant, alors qu'une très faible humidité engendre le séchage.

Les plages du confort hygrothermique peuvent être définies dans le diagramme suivant :

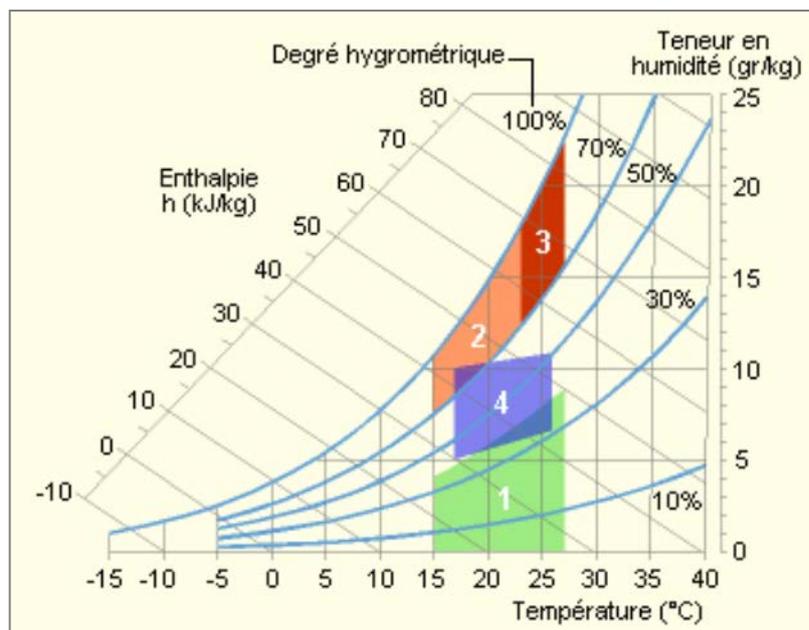


Fig II.2 : Relation entre la température et l'humidité relative  
(Source : www.batitherm.ch)

Ce diagramme représente quatre (04) zones comme suit :

- Zone 01 : à éviter vis-à-vis les problèmes de sécheresse ;
- Zones 02 et 03 à éviter vis-à-vis le développement des bactéries et des microchampignons ;
- Zone 03 : à éviter vis-à-vis le développement des acariens ;
- Zone 04 : polygone de confort hygrothermique

#### II.2.2.4 Vitesse de l'air :

La vitesse de l'air est un paramètre à prendre en considération car elle influence les échanges de chaleur par convection et augmente l'évaporation à la surface de la peau. Elle ne participe pas à la diminution de la température mais, elle offre plutôt une sensation de fraîcheur relative à ces pertes convectives.

A l'intérieur des locaux, on considère généralement que l'impact sur le confort des occupants est négligeable tant que la vitesse de l'air ne dépasse pas 0.2 m/s. Toutefois elle peut se présenter comme un facteur recherché ou un facteur gênant lié à la présence de courants d'air froids ou chauds.

En outre, ces paramètres sont interdépendants ; *« la température altère la sensation de chaleur, lorsque le niveau de l'humidité est élevé et la vitesse de l'air est faible, la sensation d'humidité de la peau augmente également avec la température ambiante. Mais sous des conditions de faible humidité et une vitesse élevée, la peau peut rester sèche même à des températures fortes »* (Givoni, 1978).

### II.3 Inconfort thermique local :

Assurer le confort thermique vise à assurer le confort thermique général c'est-à-dire du corps dans son ensemble et le confort thermique local.

Les conditions du confort thermique général sont : la température opérative résultante de la température de l'air et la température du rayonnement, l'humidité relative et la vitesse de l'air cités ci-dessus, ces paramètres auxquels s'ajoutent les fluctuations de la température et la vitesse à laquelle elles se produisent doivent être prises en considération de telle manière que la température opérative ne doit pas varier de plus de 0.5°C à l'heure.

Quant au confort thermique local, afin d'éviter l'inconfort de certaines parties du corps, il faut éviter quelques effets à savoir :

#### II.3.1 Effet du gradient thermique de l'air :

La différence verticale de la température de l'air ne doit pas dépasser 3°C entre 1.1 m et 0.1 m au-dessus du sol (niveau de la tête et niveau des chevilles) (Charbonneau, 2004).

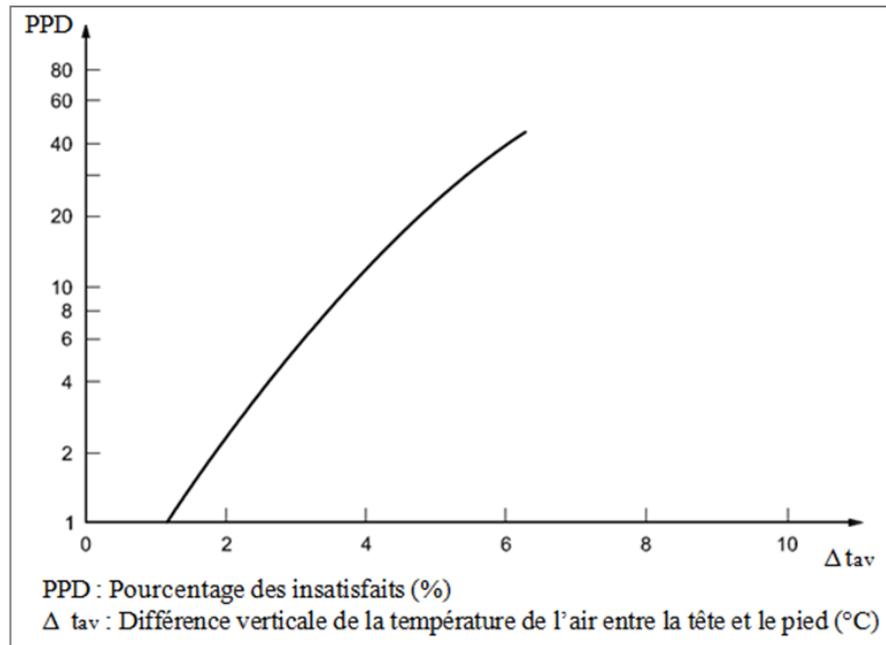


Fig II.3 : Inconfort thermique local causé par la différence verticale de la température de l'air  
 (Source : ISO 7730, 2005 réadapté par Auteur)

### II.3.2 Effet de l'asymétrie d'un rayonnement thermique :

L'asymétrie du rayonnement thermique peut être causée par une différence marquée des températures des surfaces autour d'une personne, ou encore un rayonnement solaire direct, ce qui favorise des échanges asymétriques par rayonnement avec certaines parties du corps (Charbonneau, 2004). Cette asymétrie de la température radiante doit être inférieure à 10°C pour une paroi verticale et 5°C pour un plafond chaud (Moujalled, 2007).

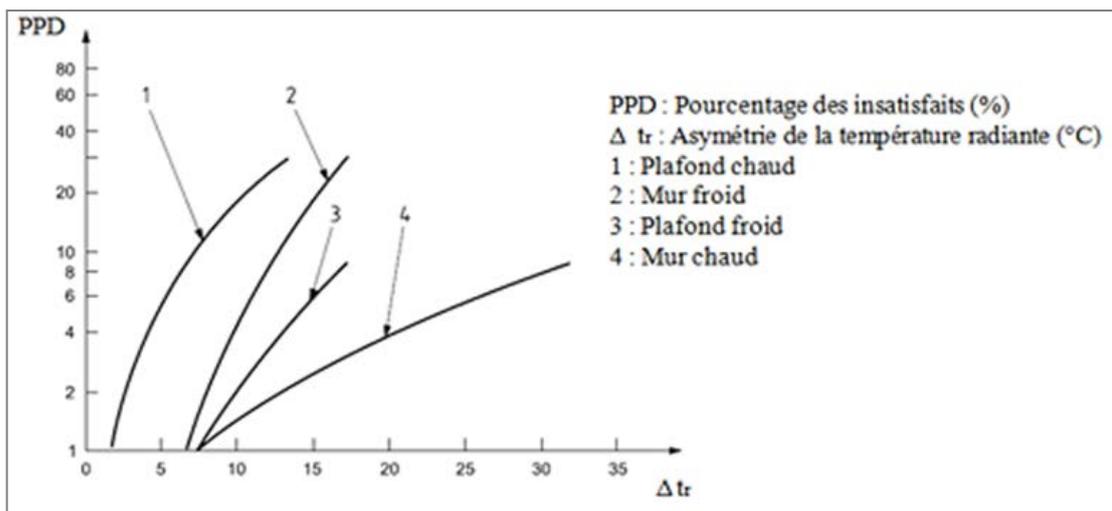


Fig II.4 : Inconfort thermique local causé par l'asymétrie de la température radiante  
 (Source : ISO 7730, 2005 réadapté par Auteur)

### II.3.3 Effet de la température du sol :

Assurer une température des planchers qui ne soit ni trop chaude ni trop froide pour minimiser le risque d'inconfort au niveau des pieds.

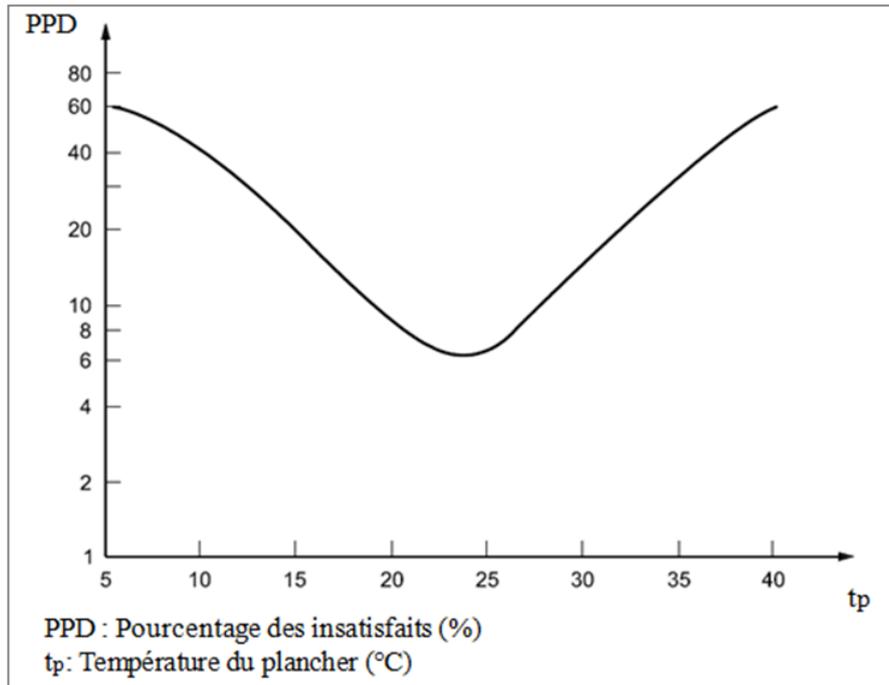


Fig II.5 : Inconfort thermique local causé par un plancher chaud ou froid  
(Source : ISO 7730, 2005 réadapté par Auteur)

### II.3.4 Effet des courants d'air :

La perception d'un courant d'air localisé principalement au niveau du visage et de la nuque produit le risque d'inconfort. Cette perception du courant d'air dépend de la vitesse de l'air, de la température de l'air, de la partie du corps concernée et du statut thermique de la personne (Corrine, 1999). Donc, il est préférable que la vitesse moyenne de l'air ne dépasse pas l'environ de 0.15 en hiver et 0.2 m/s en été (Charbonneau, 2004 ; Corrine, 1999).

## II.4 Interdisciplinarité du confort thermique :

Etudier le confort thermique implique de prendre en considération ses divers aspects physiques, physiologiques et psychologiques.

### II.4.1 L'aspect physiologique : la thermorégulation

Le maintien de la vie au niveau cellulaire, le fonctionnement des différents organes et l'activité musculaire nécessitent une dépense énergétique permanente. Le métabolisme ; cette énergie dégagée essentiellement sous forme de chaleur se propage de l'intérieur vers l'extérieur de l'organisme.

L'homme étant homéotherme, dont la température centrale est constante et reste indépendante de celle du milieu extérieur, doit assurer en continu son équilibre thermique. Pour cela, il dispose d'un système de thermorégulation qui lui permet de régler les échanges de chaleur avec son environnement, par un équilibre entre la thermogénèse (production de chaleur) et la thermolyse (perte de chaleur).

Selon l'ASHRAE, cet équilibre thermique fait que la température du noyau central soit de l'ordre de 37°C, alors que la surface périphérique (peau) est comprise entre 29-30°C aux pieds et 34-35°C au niveau de la tête. Ces températures sont susceptibles de varier, au quotidien, en réponse à des perturbations internes et externes.

Deux types principaux de thermorégulation peuvent être distingués : une thermorégulation physiologique végétative dont le but est de garder la température interne du corps à l'alentour de 37°C, et une thermorégulation comportementale, consciente ou inconsciente, qui permet au corps humain d'anticiper les variations de son environnement thermique par des adaptations comportementales dans le but de limiter les réactions physiologiques désagréables.

Les réactions comportementales peuvent être dans le sens de contrôler les surfaces exposées au milieu extérieur (réduction ou augmentation) en changeant la posture ou la vêtue, ou dans le sens de contrôler la production de chaleur (activité physique).

La conception des bâtiments offrant des environnements internes adaptés aux besoins de leurs occupants est considérée comme un autre moyen efficace de la thermorégulation (thermorégulation technologique) (Moujalled, 2007).

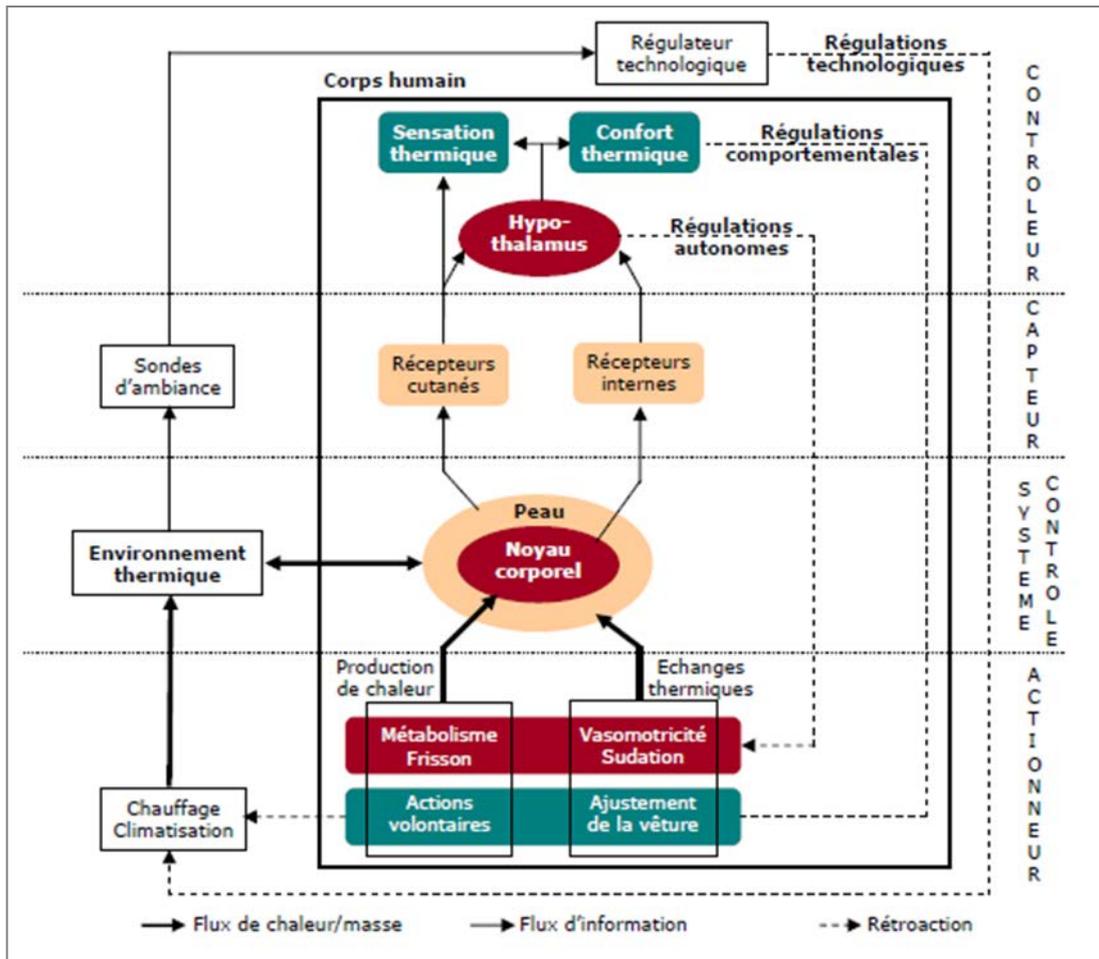


Fig II.6 : Principe des différents aspects de la thermorégulation  
(Source : Moujalled, 2007)

## II.4.2 L'aspect physique : les échanges de chaleur

La chaleur produite à l'intérieur du corps humain et véhiculée à sa surface cutanée doit être compensée par des déperditions de chaleur dans l'environnement, les fluctuations dans les conditions externes et internes impliquent un état d'équilibre dynamique, l'homéostasie. L'interaction thermique entre le corps humain et son environnement s'effectue selon les modes principaux de l'échange de chaleur dans le milieu physique :

### II.4.2.1 L'échange par conduction :

La conduction s'effectue par contact direct entre le corps humain et les objets solides qui l'entourent (les parois, le mobilier, etc.), et la chaleur s'écoule donc naturellement du corps le plus chaud vers le plus froid. Ce mode d'échange dépend de la nature des objets solides en contact (les propriétés physiques telle que la conductivité thermique) et leur épaisseur. Ces échanges représentent 1% du total des échanges thermiques, donc, leur impact sur le confort thermique est très faible.

**II.4.2.2 L'échange par convection :**

La convection est un phénomène se produisant dans un fluide en mouvement, ou entre un fluide en mouvement et un objet solide ; alors, le corps humain échange de la chaleur avec le fluide qui l'entoure.

L'échange de chaleur entre le corps et son environnement par convection dépend de la différence de température entre le corps et l'air, la vitesse de l'air et les caractéristiques de la tenue vestimentaire, ces échanges convectifs représentent 35% de la totalité des échanges, ils influent d'une façon importante sur le bilan thermique du corps humain lorsque la vitesse de l'air est élevée.

**II.4.2.3 L'échange par rayonnement :**

Les échanges radiatifs se font entre la surface de la peau du corps humain et celle de l'environnement qui lui fait face.

Tout corps émet un rayonnement électromagnétique se caractérisant par sa longueur d'onde. L'énergie transportée par rayonnement se propage dans toutes les directions. Elle se transfère au corps lorsqu'elle entre en contact avec lui. Le corps l'absorbe, se réchauffe, et réémet des rayonnements à son tour, ces échanges par rayonnement à la surface de la peau représentent jusqu'à 35 % du bilan thermique.

**II.4.2.4 L'échange par évaporation :**

Il se présente comme le moyen le plus efficace pour l'élimination de la chaleur produite par le corps humain, l'évaporation existe sous différents modes : l'échange de chaleur au niveau des voies respiratoires et l'échange de chaleur au niveau de la peau qui est un élément performant pour lutter contre la chaleur. Le taux de refroidissement par évaporation de la sueur devient important avec l'augmentation de la vitesse de l'air et la température de l'air.

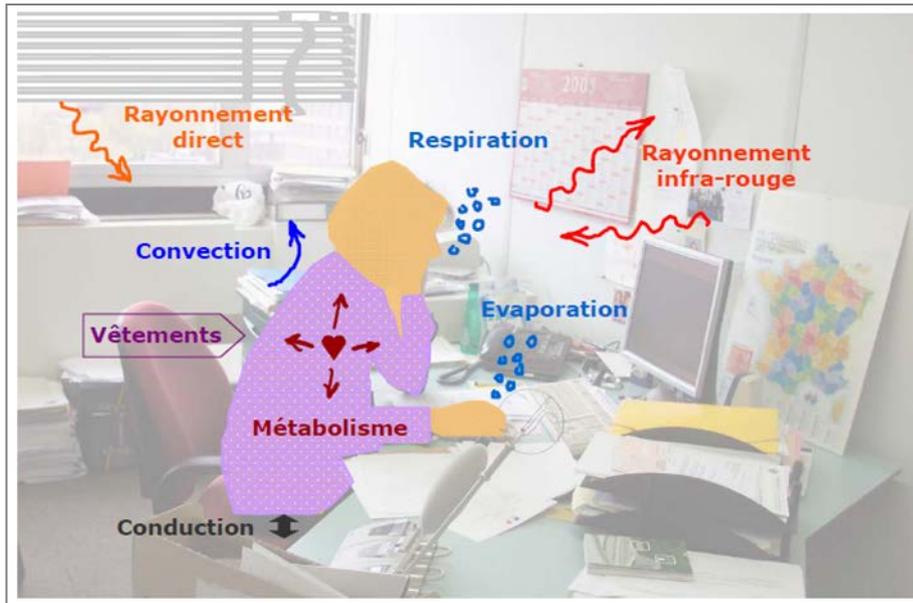


Fig II.7 : L'interaction thermique entre le corps humain et son environnement  
(Source : Moujalled, 2007)

L'ensemble des échanges thermiques entre le corps humain et son environnement peut donner un bilan positif, négatif ou neutre :

- **Un bilan positif** : l'individu est en hyperthermie, l'organisme emmagasine la chaleur, les mécanismes de thermolyse ne sont pas suffisamment efficaces et risquent d'engendrer des pathologies.
- **Un bilan négatif** : l'individu est en hypothermie, dans ce cas, l'organisme perd plus de chaleur qu'il en gagne ou qu'il en produit. Cette situation engendre, aussi, des pathologies.
- **Un bilan neutre** : quand la température corporelle est stable, les échanges thermiques avec le milieu extérieur égalent à zéro (c'est la situation la plus favorable). La personne se situe, donc, dans une zone de neutralité thermique qui, pendant laquelle la personne ne désire pas un environnement plus chaud ni plus froid, c'est une condition nécessaire du confort thermique. Cependant, l'obtention de la neutralité thermique ne garantit pas le confort.

### II.4.3 L'aspect psychologique :

L'aspect psychologique concerne la sensation et le comportement de l'individu dans un environnement thermique. D'une manière générale, la sensation thermique est relative à des paramètres liés à l'occupant comme l'âge, le sexe, le poids ... et d'autres sont liés à l'ambiance du local tel que la couleur.

Hensel suggère que l'activité thermosensorielle, qui amène à donner des jugements sensoriels est qualitative, dépend de l'expérience sensorielle et ne peut pas être basée uniquement sur la physique et la physiologie (Parsons, 2003 cité par Moujalled, 2007).

## II.5 Evaluation du confort thermique :

Le confort n'est pas simplement une réponse à des conditions de températures et d'humidité, mais, une partie d'une interaction entre l'occupant et son espace, son évaluation est un paramètre décisif dans toute conception architecturale et urbaine.

### II.5.1 Outils d'évaluation du confort thermique (et hygrothermique) :

#### II.5.1.1 Indices thermiques :

Les différents facteurs d'un environnement thermique (température, humidité relative et vitesse de l'air) sont interdépendants et agissent sur l'individu simultanément, « *c'est pourquoi il est nécessaire d'évaluer les effets combinés des facteurs d'ambiance sur les réponses physiologiques et sensorielles du corps et d'exprimer toute combinaison de ceux-ci sous la forme d'un seul paramètre. Ainsi tous les facteurs sont combinés à l'intérieur d'une seule formule, connue sous le nom d'indice thermique* » (Givoni, 1978).

De nombreux travaux de recherche, réalisés à l'intérieur des bâtiments dans des conditions parfaitement contrôlées, ont permis d'établir un certain nombre d'indices thermiques. Parmi ces indices on peut citer :

- **Indice de la température effective (T.E) :**

Au sein de laboratoire de recherche de l'ASHACE<sup>1</sup>, entre 1923-1925, l'indice de « température effective » a été développé, il représente la combinaison des facteurs climatiques suivants : la température de l'air, l'humidité et la vitesse de l'air. Les limites couvertes par la température effective de ces facteurs sont :

- Température d'air : 1 à 43 °C ;
- Température à bulbe humide : 1 à 43 °C ;
- Vitesse d'air : 0.1 à 0.35 m/s.

Deux échelles ont été développées, pour des sujets à demi-nus et pour des sujets habillés de vêtements d'été, et deux abaques ont été développés : l'un pour des sujets nus jusqu'à la ceinture et l'autre pour des sujets portant des vêtements d'intérieur ordinaire.

<sup>1</sup> American society of heating and air conditioning engineers.

Le critère déterminant des effets de la combinaison de ces facteurs est l'impression thermique instantanée éprouvée par le sujet dès son introduction dans une ambiance donnée. L'indice de la température effective est largement utilisé car il est simple et n'exige pas d'instruments sophistiqués, mais sa validité n'a pas été confirmée par les vérifications entreprises lors des études expérimentales. Certaines incertitudes sont à noter ; il ne prend pas en considération les effets de la température radiante, la non linéarité des relations entre les valeurs de l'indice de la température effective et les réactions physiologique du corps humain est l'un de ses traits caractéristiques. Donc, « *Son emploi dans la comparaison des différentes ambiances, ou dans le choix d'alternatives pour la conception des bâtiments, peut en certains cas conduire à des résultats erronées* » (Givoni, 1978).

- **Indice de la température résultante (T.R) :**

L'indice de la température résultante (ou opérative) a été proposé par Missenard. A (1959) en France. Cet indice intègre la température d'air qui assure l'équilibre thermique maintenu entre le corps et l'ambiance, la température humide, la vitesse de l'air, l'influence du métabolisme, et les vêtements. Comme pour l'indice de la température effective, les relations de l'indice de la température résultante avec les réactions physiologiques sont non linéaires, leurs bases et formes sont semblables, mais le dernier est beaucoup plus en accord avec les réactions physiologiques observées.

Les domaines des facteurs climatiques couverts par la température résultante sont :

- Température d'air : 20 à 45 °C ;
- Température à bulbe humide : 18 à 40 °C ;
- Vitesse d'air : air calme jusqu'à 0.3 m/s.

Le calcul de la température opérative peut se faire selon la relation suivante :

$$\mathbf{Top = a Ta + (1-a) Tr} \dots\dots\dots \text{Eq.1}$$

Où :

- Top = température opérative (°C) ;
- a = 0,5 + 0,25 v, où : a est le facteur obtenu selon la vitesse de l'air (v) ;
- Ta = température de l'air (°C) ;
- Tr = température moyenne de radiante (°C).

Pour une activité principalement sédentaire, la température opérative doit être comprise entre 20 °C et 24 °C (c'est-à-dire  $22\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ ) en période de chauffage et entre 23 °C et 26 °C (c'est-à-dire  $24.5\text{ °C} \pm 1.5\text{ °C}$ ) (Arene, 1998).

- **Taux de sudation après quatre heures d'exposition (TSP4) :**

Cet indice a été développé par Mc Ardle et Al pendant la 2<sup>ème</sup> guerre mondiale au *Royal Naval Research Establishment* en Angleterre.

En plus des facteurs climatiques, cet indice prend en compte le niveau de production de la chaleur métabolique et deux types de vêtements. Pour la comparaison des combinaisons des différents facteurs cités, l'unité choisie est le taux de sudation résultant d'une exposition de quatre heures, sous différentes combinaisons de facteurs climatiques, dans des conditions de repos et alternativement du repos et du travail.

Les domaines des conditions climatiques couvertes par l'indice sont :

- Température de globe (ou température d'air dans un environnement homogène) : 27 à 57 °C ;
- Température au bulbe humide : 16 à 36 °C ;
- Vitesse du vent : 0.5 à 0.25 m/s ;
- Niveau du métabolisme : 54 à 200 Kcal/m<sup>2</sup>.h ;
- Vêtements : shorts seulement ou short + chemise.

Plusieurs études ont permis d'éprouver la validité de l'indice TSP4 pour la prévision de la perte de poids au repos et pendant le travail manuel, et de la sensation thermique au repos et pendant une activité sédentaire sous diverses conditions climatiques, « *il semble que le TSP4 permette une estimation fiable de la contrainte thermique totale, manifestée par le taux de sudation et, à l'intérieur d'un domaine donné d'impressions thermiques, sous une variété de conditions de métabolisme, du climat et de tenue vestimentaire* » (Givoni, 1978).

- **Indice de contrainte thermique (I.C.T) :**

Selon Givoni. B (1978), cet indice est un modèle biophysique décrivant les mécanismes d'échange de chaleur entre le corps et l'environnement, à partir duquel la contrainte thermique totale s'exerçant sur le corps (métabolisme + ambiance) peut être calculée. Au-dessus de la zone de confort, le taux de sudation requis pour maintenir l'équilibre thermique peut également être trouvé, tant que le corps peut rester en équilibre, au-dessous de la zone de confort, l'indice prend une valeur négative indiquant une contrainte frigorifique.

L'indice est basé sur l'hypothèse que, à l'intérieur du domaine des conditions où il est possible de maintenir l'équilibre thermique, la sueur est produite selon un taux suffisant pour obtenir le refroidissement par évaporation nécessaire pour compenser la production de chaleur métabolique et l'échange de chaleur avec l'environnement.

Les domaines des facteurs couverts par cet indice sont :

- Température d'air : 20 à 50 °C ;
- Tension de vapeur d'eau : 5 à 40 mm Hg ;
- Vitesse d'air : 0.1 à 3.5 m/s ;
- Rayonnement solaire : totalité du domaine 600 Kcal/ h ;
- Métabolisme : 100 à 600 Kcal/h ;
- Tenue vestimentaire : semi nudité, vêtement léger d'été, combinaisons industrielles ou militaires.

- **Le vote moyen prévisible (PMV) et pourcentage prévisible d'insatisfaits (PPD) :**

Lorsqu'un groupe de personnes est exposé à un même climat, il est impossible de garantir la satisfaction du tout le groupe simultanément. Alors l'objectif du concepteur au travers une conception est de chercher la satisfaction de la majorité de ce groupe.

Un environnement thermiquement acceptable est défini dans la norme ASHRAE 55 (2004) comme environnement avec au moins 80% des occupants qui sont thermiquement satisfaits.

La norme ISO 7730 propose les indices PMV (vote moyen prévisible - Predicted Mean Vote) et PPD (pourcentage prévisible d'insatisfaits - Predicted Percentage Dissatisfied) comme un moyen d'évaluation des environnements thermiques pour diverses combinaisons de l'habillement et de l'activité avec les quatre variables : température de l'air, température radiante, humidité relative et vitesse de l'air. Ces indices sont calculés sur la base de l'équation du Fanger. Ce dernier, en 1970, a déterminé expérimentalement les conditions physiologiques (température cutanée et sudation) nécessaires pour le confort thermique sous des conditions thermiques homogènes et stationnaires. En écrivant le bilan thermique, il a exprimé, à l'aide de l'indice PMV, la sensation thermique en fonction de l'écart du flux de chaleur cédé par le corps à l'environnement par rapport à celui qui correspond aux conditions de confort. Cet indice prédit la sensation thermique moyenne d'un large groupe d'individus sur l'échelle de sensation thermique de l'ASHRAE. La

sensation thermique n'étant pas suffisante pour exprimer le confort, Fanger a proposé un autre indice qui complète le PMV qui est le PPD. Cet indice nous informe sur le pourcentage des individus insatisfait d'une ambiance thermique donnée.

Les expériences réalisées par Fanger avec des groupes de personnes confirment l'existence d'une relation entre les deux indices et cela selon l'équation suivante :

$$PPD = 100 - 95 \cdot \text{Exp} [-(0,03353 \cdot \text{PMV}^4 + 0,2 \cdot \text{PMV}^2)] \dots\dots\dots \text{Eq.2}$$

L'étude de ces indices montre que le PPD n'est jamais nul mais, il a une valeur au minimum de 5 % dans des conditions climatiques optimales (PMV = 0 c'est-à-dire ni chaud ni froid).

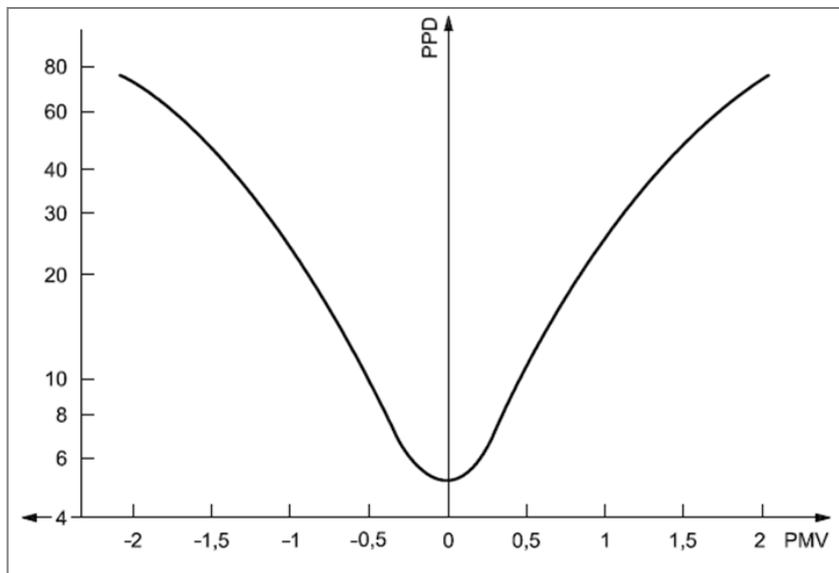


Fig II.8 : PPD en fonction du PMV d'après la norme ISO 7730  
(Source : ISO 7730, 2005)

Le taux d'insatisfaction augmente de la même manière si le PMV s'écarte de la valeur 0 vers le froid comme vers le chaud. Donc, pour obtenir une situation du confort thermique, il est recommandé que le PPD soit inférieur à 10% ce qui correspond à un PMV compris entre - 0.5 et + 0.5.

### II.5.1.2 Méthodes d'analyse bioclimatique :

- **Méthode d'Olgay :**

- **Description :** c'est l'une des premières tentatives de conception consciente de l'environnement prenant en compte l'adaptation de la conception des bâtiments aux exigences humaines et aux conditions climatiques. Olgay. V, en 1953, a adopté une méthode, basée sur un diagramme bioclimatique, mettant en évidence la zone du confort humain en rapport avec la température d'air ambiant et l'humidité, la température radiante moyenne, la vitesse du vent, le rayonnement solaire et la perte de chaleur évaporative (Givoni, 1978).

Sur le diagramme d'Olgay :

- La zone du confort : située au centre avec des gammes d'été et d'hiver indiquées séparément (tenant compte de l'adaptation saisonnière).
- La zone du chaud : limitée par la ligne d'occultation, limite inférieure de la zone du confort, qui au-dessus de laquelle l'ombrage est nécessaire.
- La zone du froid : qui nécessite un chauffage passif (rayonnement solaire) ou actif.

Aux températures au-dessus de la limite du confort, la vitesse du vent exigée pour rétablir le confort est indiquée en rapport avec l'humidité. Là où les conditions ambiantes sont chaudes et sèches, le refroidissement par évaporation nécessaire pour le confort est indiqué.

- **Démarche :** les étapes à suivre pour l'analyse sont les suivantes :

- Compiler les données climatiques locales, comprenant les températures, le vent, les rayonnements et l'humidité ;
- Constituer un répertoire des données climatiques à base annuelle, et mettre au point une série de diagrammes montrant la répartition annuelle des éléments du climat ;
- Reporter les données rassemblées de la température ambiante et d'humidité sur le diagramme bioclimatique ;
- Etablir des facteurs de conception, tels que les formes du bâtiment, l'orientation, la position, la taille et la protection des ouvertures et des baies vitrées, etc.

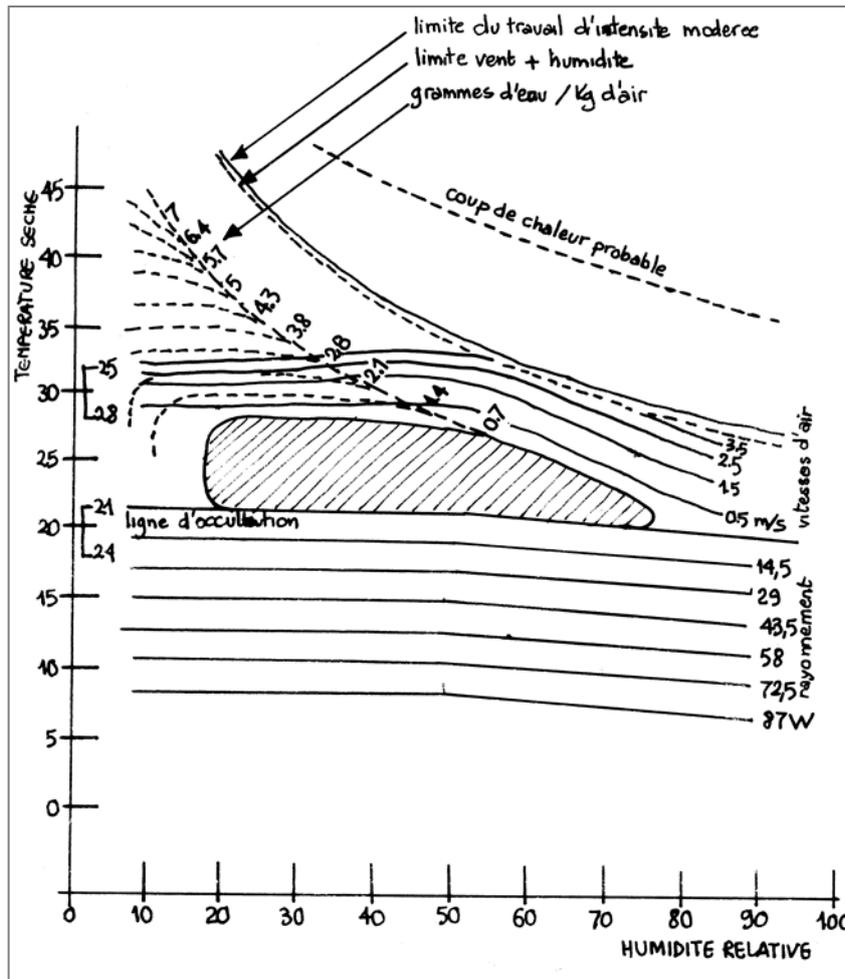


Fig II.9 : Diagramme bioclimatique d'Olgay  
(Source : Mazouz, 2009)

- **Critiques et limites d'application** : la méthode d'Olgay a été la première tentative pour systématiser l'intégration des conditions climatiques dans la conception des bâtiments. Cependant le système est limité dans ses applications et quelques critiques sont à prendre en considération :

- Les analyses des exigences physiologiques sont basées sur le climat extérieur et non sur celui attendu à l'intérieur de l'objet d'étude ;
- La méthode est adaptée pour une application dans les régions humides où la ventilation est essentielle pendant la journée et où il y a une petite différence entre les conditions intérieures et celles de l'extérieur, donc, son application pour d'autres régions (zones arides à climat chaud et sec) peut conduire à des résultats erronés ;
- La méthode est limitée dans son application aux conditions situées au-dessous de la zone du confort (Givoni, 1978).

• **Méthode de Givoni :**

- **Description :** en 1978, Givoni. B, faisant appel à l'indice de contrainte thermique (ICT), a établi un diagramme psychrométrique où il évalue les exigences physiologiques du confort qui sert à la détermination des lignes directrices de la conception des bâtiments afin d'assurer le confort. Cette méthode permet aussi d'estimer le climat intérieur attendu sous des conditions d'ambiance données.

- **Démarche :** l'analyse se déroule selon les étapes suivantes :

- Analyse du climat : se basant sur les données extrêmes du climat afin de pouvoir englober les problèmes de sur-échauffement en été et ceux de sous-échauffement en hiver ;
- Choix de l'approche dans les climats chauds : deux méthodes de base pour l'évaluation du confort thermique qui sont la ventilation efficace et la réduction des températures intérieures ;
- Diagramme bioclimatique du bâtiment : utilisé pour ressortir quels moyens pris en compte pour éviter les fluctuations climatiques, par des dispositifs architecturaux ou techniques.

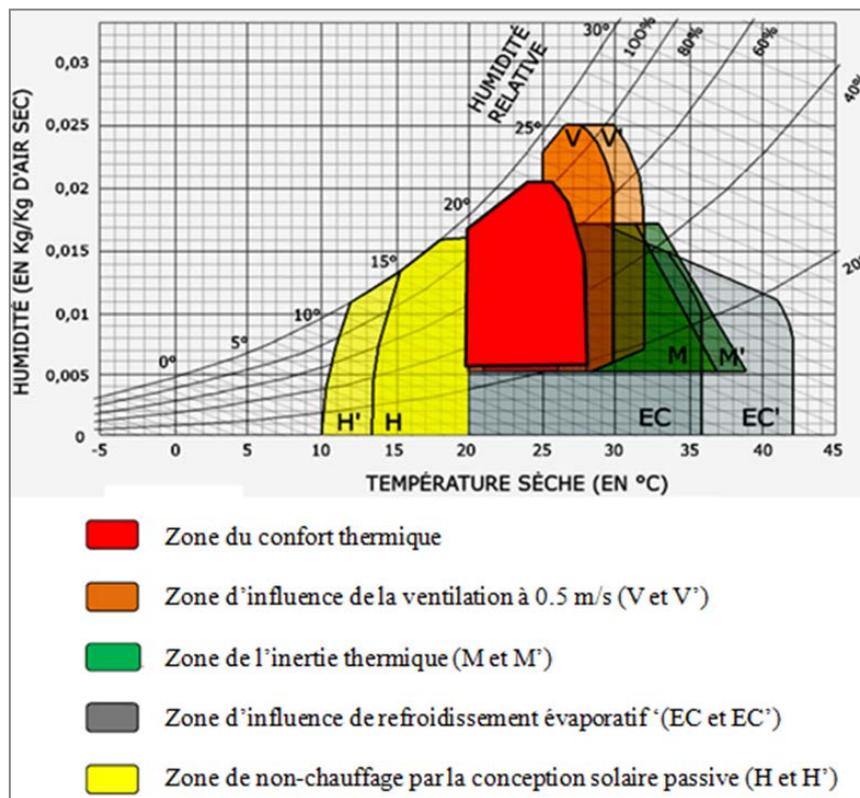


Fig II.10 : Diagramme psychrométrique de Givoni  
(Source : Izard, 2008)

Les indices thermiques et diagrammes élaborés ont été considérés comme universels et applicables dans divers zones climatiques. Cependant, il faut noter que les spécificités socioculturelles et climatiques de chaque zone ne sont pas prises en considérations. C'est ainsi qu'une surestimation ou sous-estimation des périodes du froid et de chaleur peut avoir lieu, ce qui entraîne une exagération dans la définition des besoins de chauffage ou de refroidissement. De plus, les zones de confort définies peuvent être acceptables par un groupe d'individus donné, mais, interprétées comme trop chaudes ou trop froides pour un autre groupe.

### II.5.2 Echelles d'évaluation du confort thermique :

Afin d'évaluer la sensation du confort thermique (et hygrothermique), plusieurs échelles ont été développées. Parmi les plus couramment utilisées celle de l'ASHRAE et celle de Bedford. La variation de la sensation thermique selon ces échelles allant sur sept (07) points de plus chaud au plus froid.

L'échelle de Bedford	L'échelle de l'ASHRAE
7 Très chaud	7 (+3) Très chaud
6 Chaud	6 (+2) Chaud
5 Confortablement chaud	5 (+1) Légèrement chaud
4 Confortable	4 (0) Neutre
3 Confortablement froid	3 (-1) Légèrement froid
2 Froid	2 (-2) Froid
1 Très froid	1 (-3) Très froid

Tableau II.1 : Echelles de sensation thermique  
(Source : Moujalled, 2007 réadapté par Auteur)

L'échelle de L'ASHRAE est souvent utilisée en affectant à la sensation neutre la valeur zéro (sensation chaude = +3, sensation froide = -3 et ainsi de suite). Elle est préférée à celle de Bedford qui confond la sensation et l'agrément.

En plus des échelles d'évaluation de la sensation thermique, et en tenant compte de l'aspect subjectif du confort thermique, apparaissent d'autres échelles qui sont relatives à l'agrément et à la préférence. La norme internationale ISO 10551 précise les méthodes d'évaluation de l'influence des ambiances thermiques à l'aide d'échelles de jugements

subjectifs. Le tableau suivant résume les trois échelles de sensation, d'agrément et de préférence.

Echelle de jugement perceptif (sensation)	Echelle de jugement évaluatif	Echelle de préférence thermique
(+3) Très chaud	4 Acceptable	(+3) Beaucoup plus chaud
(+2) Chaud	3 Légèrement inacceptable	(+2) Plus chaud
(+1) Légèrement chaud	2 Inacceptable	(+1) Un peu plus chaud
(0) Neutre	1 Très inacceptable	(0) Ni plus chaud ni plus froid
(-1) Légèrement froid		(-1) Légèrement froid
(-2) Froid		(-2) Plus froid
(-3) Très froid		(-3) Beaucoup plus froid

Tableau II.2 : Echelles du jugement subjectif sur les conditions thermiques  
(Source : Moujalled, 2007)

## II.6 L'évaluation post occupationnelle « POE » :

*« La clef du succès, le seul moyen d'éviter la répétition des erreurs antérieures, c'est l'évaluation ».*

L'évaluation post occupationnelle « POE » constitue une branche émergente de la recherche scientifique sur l'environnement bâti. Elle a été développée à la fin des années 1960 pour servir à cette fin : « évaluer systématiquement la performance des bâtiments après qu'ils aient été construits et occupés pendant quelque temps » (Conseil fédéral d'équipements, 2001 cité par Tural, 2010).

La POE analyse, donc, systématiquement un environnement bâti afin d'évaluer le degré auquel cet environnement permet à ses occupants d'atteindre leurs buts prévus, de répondre à leurs besoins, de comprendre comment cet environnement facilite ou empêche leurs activités et par conséquent de conclure le taux de satisfaction et d'insatisfaction. La POE permet ainsi d'identifier les problèmes à réduire et améliorer la performance du bâtiment. Son avantage est, donc, d'apporter les informations nécessaires et valables pour soutenir le but de l'amélioration continue et d'aider à identifier les traits caractéristiques d'une future conception réussie.

Les POE sont typiquement effectuées dans les 4 à 24 mois qui suivent l'occupation d'un nouveau bâtiment ou d'un bâtiment rénové. Cependant, Watson (2003) indique que la POE peut être menée à tout moment dans la vie d'un bâtiment et pas nécessairement dans un délai défini (Khalil, 2009).

Entreprendre une POE implique trois étapes principales :

- **La planification :**

- Définir des objectifs de la POE ;
- S'assurer que la POE est bien organisée ;
- Lancer le processus d'évaluation.

Cette étape peut être considérée comme pré-phase d'évaluation. Elle détermine la faisabilité de l'étude du bâtiment concerné.

- **La conduite :**

- Collecter les données est une tâche principale ;
- Identifier les utilisateurs afin de développer la collecte des données (questionnaire ou entrevues) ;
- Analyser les données ;
- Trouver des conclusions en termes de questions données.

- **L'application :**

- Rapporter les résultats de l'étude ;
- Recommander et prévoir des actions ;
- Mettre les résultats en application ;
- Prendre des mesures et sonder les effets des actions (Khalil, 2009)

Les études de POE impliquent la collecte et l'évaluation des informations concernant la performance d'un bâtiment. Ces informations peuvent inclure des données mesurées telle que la consommation énergétique, les niveaux de température, les niveaux d'éclairage, etc. et des données d'enquête au sujet des avis et attentes des occupants.

## II.7 Les approches du confort thermique :

Le domaine de recherche sur le confort thermique dans les bâtiments est partagé entre deux approches, la première étudie le confort thermique d'une façon analytique, elle n'est pas restreinte aux bâtiments. La deuxième approche, basée sur l'incapacité de l'approche analytique à représenter la réalité du confort thermique dans les bâtiments, est l'approche adaptative.

### II.7.1 L'approche analytique :

L'approche analytique du confort thermique est basée sur le calcul du bilan thermique du corps humain, ce calcul se fait par des modèles essentiellement physiques et physiologiques. L'objectif est de prédire la sensation thermique des occupants dans le but de déterminer les conditions du confort thermique.

Comme variables d'entrée, ces modèles combinent l'ensemble des paramètres physiques de l'environnement thermique (température de l'air, température du rayonnement, humidité relative et vitesse de l'air) et des caractéristiques de l'individu (taille et poids, activité métabolique et habillement des sujets). De nombreux indices sont proposés comme variables de sortie, ils prévoient la sensation thermique ou le niveau du confort pour les conditions étudiées.

Différents modèles se sont développés, ils se différencient au niveau de la modélisation physiologique de la thermorégulation, certains ont été le résultat d'études en laboratoires avec des individus sous des conditions homogènes et stationnaires. D'autres considèrent le corps comme un modèle en le découpant en plusieurs compartiments. Ces modèles ont l'avantage d'être applicable sous des conditions instationnaires. Cependant, la réalité d'hétérogénéité des conditions dans l'espace est plus ou moins prise en compte.

Les modèles les plus couramment utilisés sont celui de Fanger -le PMV (vote moyen prévisible)- et celui de Gagge -le SET (température effective standard)-. Le modèle de Fanger fait l'objet de la norme internationale ISO 7730 qui porte sur les conditions du confort dans les ambiances thermiques modérées, et celui de Gagge pour la norme américaine ASHRAE standard 55 qui aussi précise les conditions du confort thermique dans les bâtiments.

Bien que l'approche analytique permette d'assurer les conditions de confort thermique dans les bâtiments, cela semble insuffisant pour répondre aux exigences du développement durable concernant la consommation énergétique. Avec des méthodes statiques, la

climatisation active risque d'être répandue dans les bâtiments afin de maintenir le confort au détriment de la consommation énergétique. Ceci a été vérifié par les résultats des investigations dans les bâtiments non climatisés où les conditions du confort thermique trouvées étaient plus larges que celles recommandées par ces méthodes (Cantin, 2005). Les chercheurs se sont vite rendus compte des lacunes de l'approche analytique en multipliant leurs investigations dans les bâtiments. En développant l'approche adaptative, ils ont proposé un alternatif aux méthodes reprises par les normes, afin de prendre en compte la capacité d'adaptation des occupants.

### **II.7.2 L'approche adaptative :**

L'approche adaptative a commencé à susciter plus d'intérêt puisque les chercheurs ont montré l'existence d'un écart marqué entre le confort prévu par les résultats de l'approche analytique et celui perçu par les occupants. Cet écart est plus large dans les espaces naturellement ventilés, où les conditions thermiques intérieures sont influencées par le climat extérieur, que ceux climatisés mécaniquement (Brager, 1998 ; de Dear, 1998 cités par Corgnati, 2007). Cette approche est basée sur les résultats des études in situ qui combinent la mesure des paramètres physiques de l'environnement thermique avec les réponses subjectives des occupants concernant cet environnement. Elle considère que la personne, consciemment ou inconsciemment, joue un rôle actif dans le maintien de leur confort thermique, c'est-à-dire que la personne peut agir sur son environnement en fonction de ses besoins et de sa perception du climat (Brager, 1998 ; de Dear, 1998 cités par Corgnati, 2007).

Cette approche se différencie de celle analytique par l'intégration de deux aspects : l'adaptation climatique et la capacité d'interaction ; la situation du confort thermique dans un espace se change en rapport avec l'acclimatation et les habitudes des occupants.

L'acclimatation peut être comportementale (exp : changement de vêtue ou de posture, absorption des boissons froides ou chaudes) ; physiologique (modification des réactions du corps en s'adaptant à un environnement à l'échelle de quelques jours) ou psychologique (l'occupant se sent moins inconfortable envers les sources de gênes lorsqu'il a contrôle dessus. Dans le cas contraire, comme dans certains espaces climatisés, il devient plus intolérant aux moindre écarts par rapport à sa zone du confort). En plus de ces types, on peut citer l'acclimatation technologique (exp : ouverture ou fermeture des fenêtres) et culturelle (modification des horaires du travail).

L'ajustement comportemental constitue un lien de rétroaction de l'homme envers son environnement thermique. Dans le modèle adaptatif, ce qui était ordinairement considéré comme la conséquence de l'équilibre thermique du corps humain menant à un jugement thermo-sensoriel, devient le point initial de la rétroaction (Thellier, 2004).

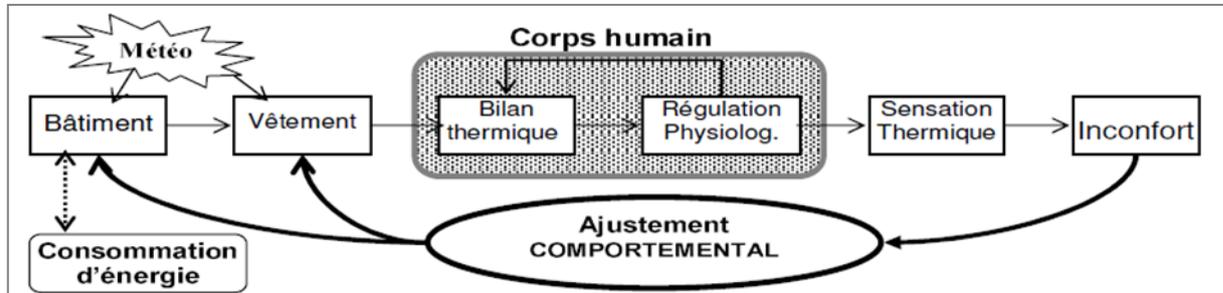


Fig II.11 : Boucle de rétroaction de l'ajustement comportemental  
(Source : De Dear, 1998 cité par Thellier, 2004)

La capacité d'interaction présente cette aptitude de maintenir des ajustements pour contrôler une situation donnée. Elle dépend des possibilités ou des contraintes ou restriction liées à l'environnement, comme par exemple la distance entre l'occupant et les ouvertures, les conditions d'organisation sociale comme l'existence d'un code d'habillement, etc. (Thellier, 2004).

Les figures ci-dessous montent quatre classes de confort exprimées en termes de température de l'air. Ces plages du confort sont pour les deux cas : si l'occupant ne dispose pas puis s'il dispose d'une capacité d'intervention sur son environnement.

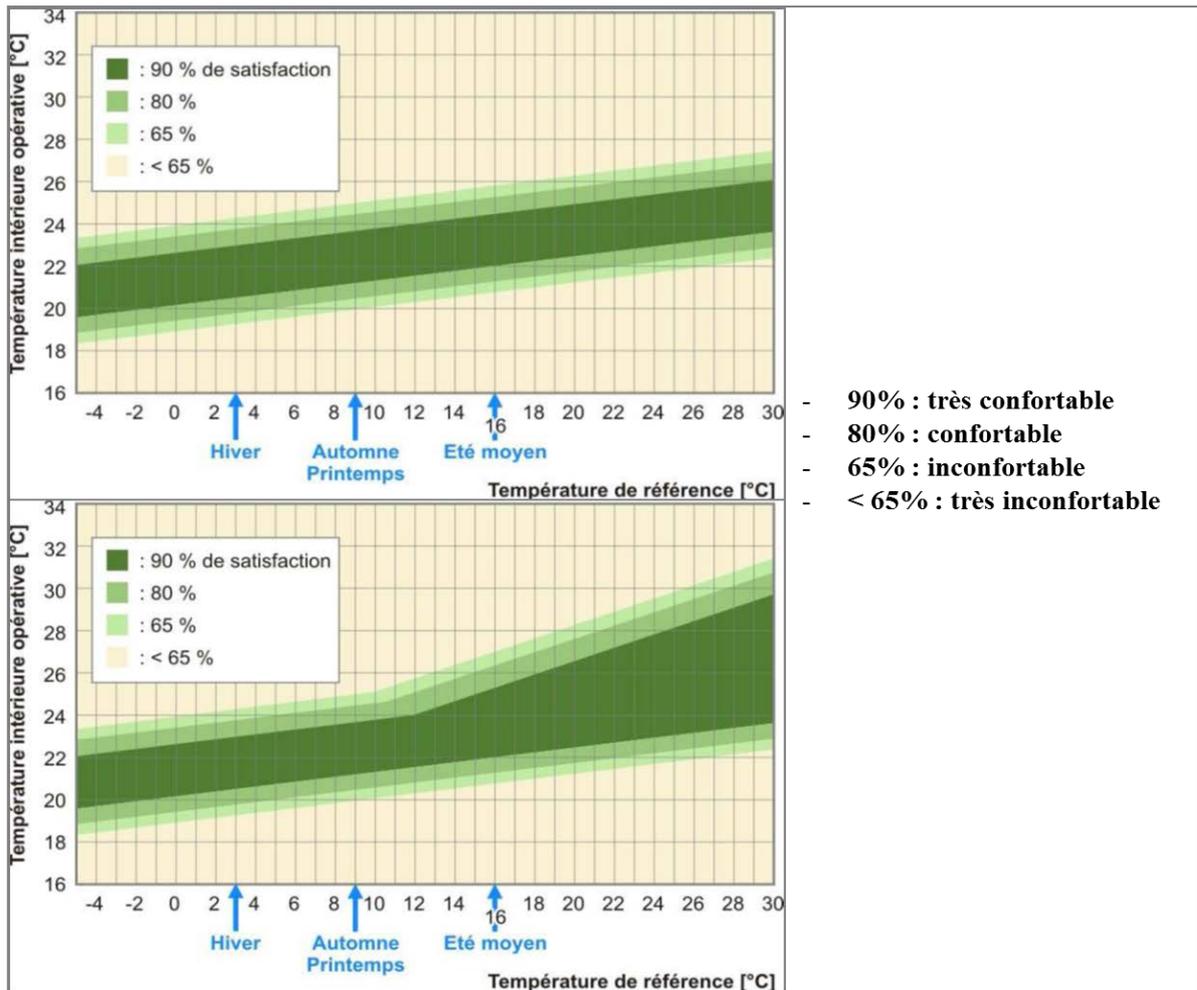


Fig II.12 : Plages de confort si l'occupant ne dispose pas (en haut) puis s'il dispose (bas) d'une capacité d'intervention sur son environnement via le logiciel Alter-clim (Source : IBGE, 2007)

Par ailleurs, les études récentes se basant sur l'approche adaptative qualifient le confort thermique en demandant, non seulement, un jugement sur la sensation thermique, mais aussi, en enquêtant sur l'acceptabilité et la préférence par rapport à des conditions correspondant à la neutralité thermique (Brager, 2001 ; Mayer, 1997 cités par Corgnati, 2007). Cette tendance de préférer certains environnements thermiques a été déjà soutenue par McIntyre (1980), dans ses études, il a constaté que les personnes des climats chauds peuvent préférer un environnement « légèrement frais », au contraire, les personnes des climats froids peuvent préférer un environnement « légèrement chaud » (McIntyre, 1980 cité par Corgnati, 2007).

L'importance des études sur terrain, particulièrement l'enquête sur l'adaptabilité des personnes, vient de la nécessité d'enquêter sur les réponses du confort thermique dans un contexte naturel (Corgnati, 2007).

## Conclusion :

Simplement défini comme la sensation de n'avoir ni trop chaud ni trop froid, et de ne pas ressentir ni l'humidité ni le courant d'air ni les fortes variations de la température ambiante, le confort hygrothermique révèle une importance primordiale participant ainsi au bien-être, à la santé et à la rentabilité de l'individu.

La sensation du confort hygrothermique n'est pas directement liée à la température de l'air intérieur, car la température vraiment ressentie est le résultat des effets conjugués de la température de l'air, celle des parois, de l'humidité relative et de la vitesse de l'air à l'intérieur du local.

L'évaluation du confort hygrothermique dans les bâtiments est cruciale dans toute conception architecturale, et dans la recherche d'un équilibre thermique entre le corps humain et son environnement. Cette évaluation se fait par des méthodes et des outils élaborés qui simplifient la complexité de ces phénomènes interactifs en partant des indices thermiques qui sont le résultat de combinaison de plusieurs paramètres et arrivant aux diagrammes bioclimatiques qui délimitent des zones du confort et proposent des solutions architecturales en éloignant de celle-ci vers la zone de sur-échauffement ou de sous-échauffement.

Actuellement, l'approche adaptative suscite plus d'intérêt entre les chercheurs et est devenue la plus utilisée dans les travaux de recherches au sujet du confort thermique. Elle est basée sur les résultats des investigations in situ, en faisant construire une base de données sur les conditions thermiques dans les bâtiments, accompagnées par les réponses subjectives des occupants par des enquêtes. De ce fait, en se basant sur le principe que le confort hygrothermique couvre deux aspects (quantitatif et qualitatif), l'approche adaptative est jugée comme la plus adaptée en vue d'atteindre les objectifs de notre recherche.

Enfin, vu l'importance du confort hygrothermique pour les individus, les concepteurs doivent accorder plus d'intérêt à son étude, son évaluation et son amélioration par le biais d'une conception qui tire parti de tous les éléments qui le favorise.

# CHAPITRE III :

## FORME ARCHITECTURALE ET

### PERFORMANCES THERMIQUES

*« La fonction de l'architecte est de composer des formes et des espaces auxquels il doit nécessairement donner des limites et que c'est essentiellement le traitement de ces limites qui va conditionner les transferts énergétiques et générer les ambiances dans la construction »*

Pierre Lavigne

## Introduction :

La performance thermique d'un bâtiment est le degré auquel le bâtiment modifie le climat extérieur pour créer un environnement intérieur unique (Appah-dankyi, 2012) et confortable qui contribue à la santé et au bien être de ses occupants. Pour atteindre cet objectif, « *la conception du bâtiment doit mettre en œuvre des principes simples, basés sur le bon sens et qui ont prouvé leur efficacité dans les constructions anciennes. Elle doit être adaptée aux besoins saisonniers (chaleur en hiver, fraîcheur en été)...* » (Mokhtari, 2008).

Une forme thermiquement efficace a été définie selon Olgyay comme étant celle qui permet un minimum de gains thermiques en saison chaude et un minimum de pertes en saison froide. Ici, de nombreux facteurs entrent en jeu et contribuent à la façon dont les bâtiments réagissent à leur environnement externe, ils peuvent être classés selon différents thèmes à savoir :

- La morphologie du bâtiment ;
- L'orientation du bâtiment ;
- Les ouvertures, leurs tailles et leurs positions ;
- La protection de l'enveloppe opaque et transparente ;
- Les propriétés thermo-physiques des matériaux de construction de l'enveloppe du bâtiment.

L'objectif de ce chapitre est de mettre le point sur ces facteurs afin de comprendre de quelle manière et à quel degré influencent-ils la performance thermique d'une forme donnée et par conséquent le confort hygrothermique de ses occupants.

### III.1 Morphologie du bâtiment :

#### III.1.1 La compacité :

La compacité d'un bâtiment est définie comme rapport de la surface exposée au volume protégé de ce bâtiment. Plusieurs études ont montrés que la perte ou la conservation de la chaleur à partir de l'enveloppe du bâtiment est liée à ce rapport. Donc, les formes compactes économisent de l'énergie mieux que d'autres formes. La compacité dépend directement de l'architecture du bâtiment. Il est difficile de lui donner des limites chiffrées, pour tous types de bâtiment, on cherchera la compacité maximale.

Une forme compacte présente un minimum de surfaces d'échanges pour un volume donné, donc, un minimum d'échanges thermiques avec le milieu extérieur. En terme technique, se sont des formes qui ont un faible « coefficient de forme ». Ce facteur noté par «  $C_f$  » est considéré par les chercheurs de la plus haute importance dans les performances thermique et bioclimatiques d'une forme donnée. Plus le ratio est petit plus la forme est performante du point de vue thermique. L'exemple de l'efficacité thermique de l'igloo des esquimaux est souvent donné comme exemple à ce sujet (Mazouz, 2008). Ainsi, ce facteur est un indicateur d'état du bâtiment qui a trait à sa morphologie, il dépend de :

- Géométrie de la forme ;
- Dimensions de la forme.

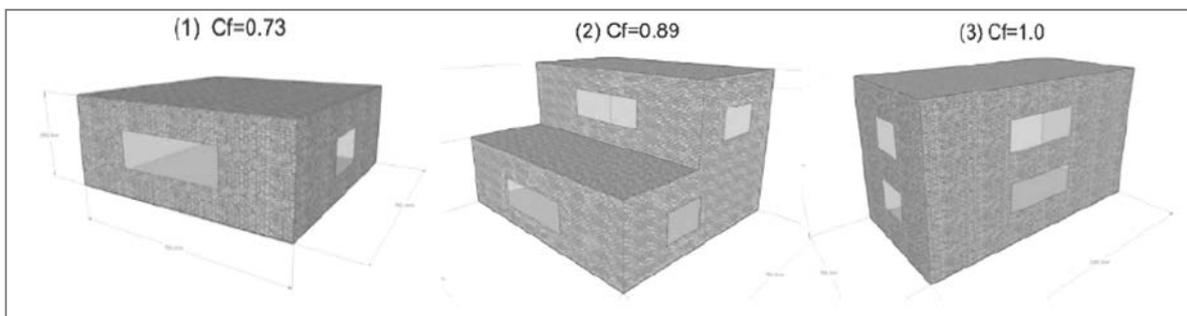


Fig III.1 : Coefficient de forme «  $C_f$  » pour différentes morphologies de bâtiments  
(Source : Tiberiu, 2008)

Il existe trois manières d'agir sur le coefficient de forme :

- Soit en augmentant le volume du bâtiment et, par conséquent, sa taille. Plus un bâtiment est grand plus son coefficient de forme est favorable ;
- Soit, pour une forme donnée, en neutralisant des fractions de l'enveloppe en les enterrant au dessous d'une certaine profondeur. Ainsi un bâtiment posé sur le sol est plus favorable qu'un autre positionné sur pilotis. On peut aussi obtenir cette

neutralisation en groupant plusieurs volumes de manière à définir des parois communes ou mitoyennes ;

- Soit en choisissant une forme géométrique favorable (Izard, 2006).

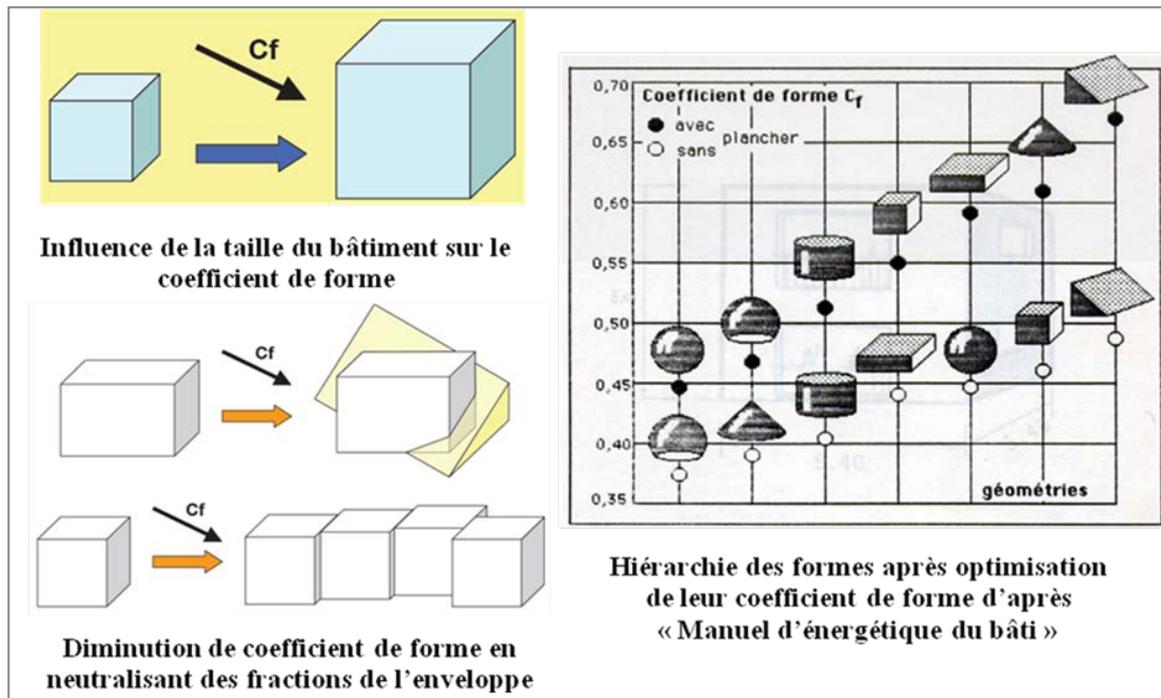


Fig III.2 : Différentes manières d'agir sur le coefficient de forme  
(Source : Izard, 2006)

Donc, lors de l'élaboration d'un projet architectural, quelques objectifs doivent être pris en compte en vue d'augmenter la compacité :

- Privilégier une forme simple ;
- Privilégier les mitoyennetés ;
- Privilégier les bâtiments de grande taille.

### III.1.2 Surfaces exposées au rayonnement solaire :

Les gains et les pertes thermiques à travers les surfaces de l'enveloppe exposées à l'extérieur est un élément déterminant du bilan énergétique d'un bâtiment.

Sous des climats trop ensoleillés, ces gains thermiques sont dus aux radiations solaires directes que reçoivent les parois exposées au rayonnement solaire. De ce fait, ces surfaces de l'enveloppe présentent un élément important dans la détermination des gains solaires par rapport aux autres surfaces extérieures.

D'un autre côté, la toiture est un élément fondamental dans la forme générale de la construction. Son influence sur les gains de chaleur s'avère plus grande dans des régions à basses latitudes, où la toiture devient la surface la plus exposée aux radiations solaires, ces gains de chaleur par radiation augmentent la température radiante qui a un effet sur la sensation du confort hygrothermique par les occupants.

### III.1.3 Hauteur du plafond :

Sous des climats chauds, la hauteur du plafond constitue un élément important pour le confort. Pour une même surface couverte, la hauteur du plafond a une influence sur la transmission des radiations solaires et les transferts convectifs de la chaleur. La transmission s'atténue avec des plafonds plus hauts et les transferts par convection seront moins importants du fait que l'air chaud forme une couche au-dessous du plafond et les têtes des occupants, donc, seront protégés de cet air chaud (Mansouri, 2008).

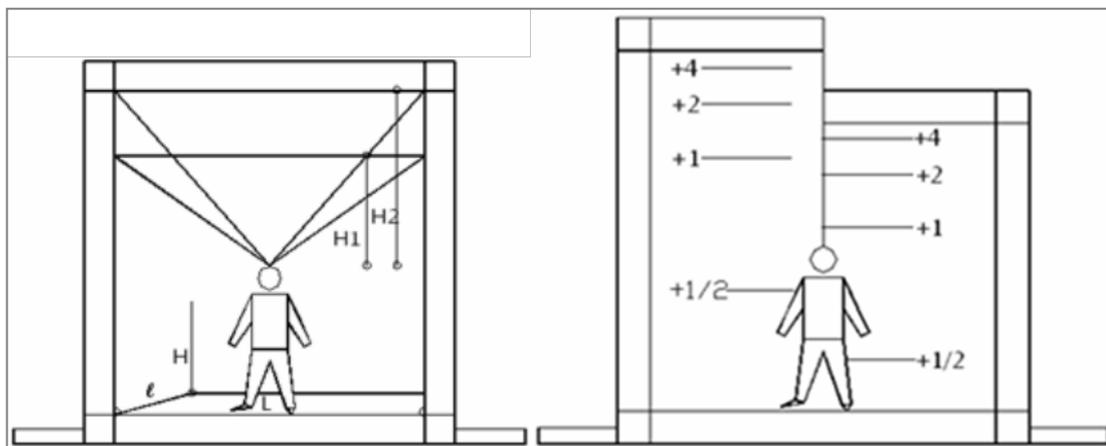


Fig III.3 : Effet de la hauteur du plafond sur la radiation du toit reçu par l'occupant (à gauche) et sur la graduation de la température de l'air intérieur (à droite)  
(Source : Even, 1980 cité par Mansouri, 2008)

## III.2 Orientation du bâtiment :

L'orientation du bâtiment a une importance primordiale pour son efficacité énergétique. Une bonne orientation adaptée aux contraintes augmente son efficacité, permettant ainsi de réduire les consommations de chauffage, de refroidissement et d'éclairage et le rend davantage confortable pour ses usagers.

### III.2.1 Définitions :

L'orientation d'un bâtiment est la direction vers laquelle sont tournées ses façades, c'est-à-dire la direction perpendiculaire à l'axe des blocs (Givoni, 1978) et l'orientation d'une pièce est la direction vers laquelle est dirigée sa façade principale.

Elle est habituellement donnée en degrés au Nord c'est-à-dire à partir de l'orientation Nord, elle peut également être donnée par les directions telles que Nord (N), Sud (S), Est (E), Ouest (O) qui sont les directions cardinales, et (NE), (NO), (SE), (SO), etc. pour les directions non cardinales.

Implanter un bâtiment sur un terrain revient à affecter une orientation à chacune de ses façades. Les orientations des parois dépendent, donc, à la fois de la forme du bâtiment, par exemple du nombre des faces et des angles qu'elles forment entre elles, et de la manière dont l'ensemble est implanté par rapport à une direction de référence telle que le Nord.

Le choix de l'orientation est soumis à de nombreuses considérations, telles que la vue dans différentes directions, la position du bâtiment par rapport aux voies, la topographie du site, la position des sources de nuisances et la nature de climat (Givoni, 1978). Ce dernier aspect affecte largement l'ambiance intérieure : ensoleillement, éclairage, ventilation. Il exerce une influence considérable sur le confort des occupants.

Givoni (1976) a mis le point sur l'influence de l'orientation sur l'ambiance intérieure en tenant compte de deux facteurs climatiques distincts. Premièrement, le rayonnement solaire et son effet thermique sur les murs et les espaces faisant face à différentes directions. Deuxièmement, les problèmes de ventilation résultant de la relation entre les vents dominants et l'orientation du bâtiment. La prise en considération de ces exigences peut aboutir à des solutions d'orientation contradictoires. De ce fait, une telle situation nécessite de chercher un compromis tout en faisant ressortir des avantages de chacun des facteurs climatiques en relation.

Par exemple, dans des régions climatiques où la température intérieure a plus d'impact sur des occupants que la ventilation et l'humidité, l'orientation par rapport au rayonnement solaire a une considération significative pour le confort humain. Par contre, dans des climats fortement humides, l'orientation par rapport à la ventilation est plus exigée.

### **III.2.2 Orientation / Ensoleillement :**

L'orientation d'une paroi fixe la valeur de l'angle d'incidence que font les rayons du soleil avec la normale au plan de la paroi, au même titre que l'azimut et la hauteur du soleil. Donc, elle définit la quantité du rayonnement solaire que reçoit cette paroi.

Pour profiter d'un ensoleillement avantageux, l'orientation du bâtiment doit tenir compte de différents paramètres :

- La course apparente du soleil qui est très différente en hiver et en été sous les différentes latitudes ;
- Les rayonnements perpendiculaires aux surfaces vitrées pénétrant dans le bâtiment ;
- Les rayonnements presque parallèles aux surfaces vitrées qui soient réfléchis.

#### **III.2.2.1 Effet de l'orientation des parois sur l'intensité du rayonnement solaire reçu :**

La quantité du rayonnement solaire indirect tombant sur une surface est presque indépendante de l'orientation tandis que le rayonnement direct dépend fortement de l'orientation.

- **Parois verticales :**

Le terme « parois verticales » regroupe toutes les parois dont l'angle avec le plan horizontal vu de l'intérieur est égal ou supérieur à 60°. Il s'agit ici, par exemple des murs de façades, des pignons, etc.

- **Orientation Nord :**

- Les espaces orientées vers le Nord bénéficient toute l'année d'une lumière égale et du rayonnement solaire diffus ;
- Pendant l'été, ils peuvent souffrir d'un rayonnement direct au petit matin et en soirée car le soleil est bas et ses rayons provoquent un éblouissement difficile à contrôler.

- **Orientation Est :**

- Les espaces orientées vers l'Est bénéficient du soleil le matin ;
- La maîtrise de la lumière naturelle est difficile car les rayons sont bas sur l'horizon ;
- L'exposition solaire y est faible en hiver mais, en été, elle est supérieure à l'orientation Sud.

- **Orientation Ouest :**

- La situation la plus difficile, car le soleil donne en fin de journée sur une façade surchauffée, à un moment où la température est élevée. Le soleil est dans un plan perpendiculaire à la façade lorsque sa hauteur est d'environ 30° ;
- Les espaces orientées vers l'ouest peuvent présenter un problème d'inconfort visuel par éblouissement et surexposition en été ;
- L'exposition Ouest cumule la chaleur de matinée et l'exposition directe au soleil l'après-midi en été. En ajoutant les températures déjà élevées en fin de journée, le contrôle des surchauffes devient difficile.

- **Orientation Sud :**

- Les espaces orientées vers le sud bénéficient d'une lumière plus facile à contrôler ;
- Ils ont l'avantage de bénéficier d'un ensoleillement maximal en hiver (soleil bas pénètre profondément dans le bâtiment) et minimal en été (la hauteur solaire étant importante et la pénétration du soleil est donc moins profonde lorsque ses apports énergétiques sont importants) ;
- L'orientation Sud est meilleure en ce qui concerne le contrôle passif de l'ensoleillement. Elle est souvent la plus intéressante pour respecter le confort d'été et récupérer les apports solaires gratuits l'hiver.

Pour cela, il est admis dans les milieux scientifiques que toute forme allongée selon l'axe Est/Ouest présente les meilleures performances thermiques (Mazouz, 2008). Donc, les façades en longueur seront celles du Sud et du Nord.

• **Parois horizontales :**

Le terme « parois horizontales » regroupe toutes les parois dont l'angle avec le plan horizontal vu de l'intérieur est inférieur à 60°, il s'agit des parois horizontales supérieures : terrasses, toitures de pente inférieure à 60°, etc.

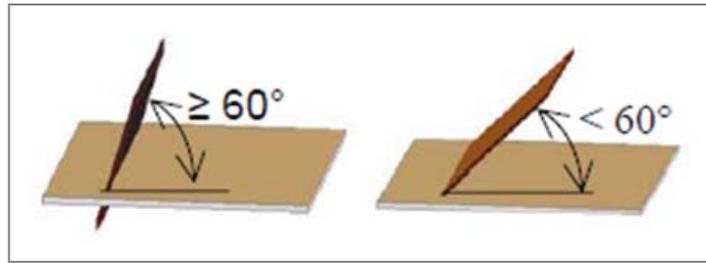


Fig III.4 : Paroi verticale (à gauche) et paroi horizontale (à droite)  
(Source : DGUHC/QC2, 2004)

Les parois horizontales représentent la partie la plus exposée du bâtiment aux éléments climatiques. Le rayonnement solaire des journées de grande chaleur d'été affecte ces parties horizontales plus que n'importe quelle autre partie du bâtiment.

Une paroi horizontale reçoit le rayonnement le plus intense en été, mais, entre novembre et janvier, elle reçoit moins qu'une paroi Sud et même moins que des parois Sud-est et Sud-ouest puisque les rayons solaires sont bas dans le ciel (Givoni, 1978).

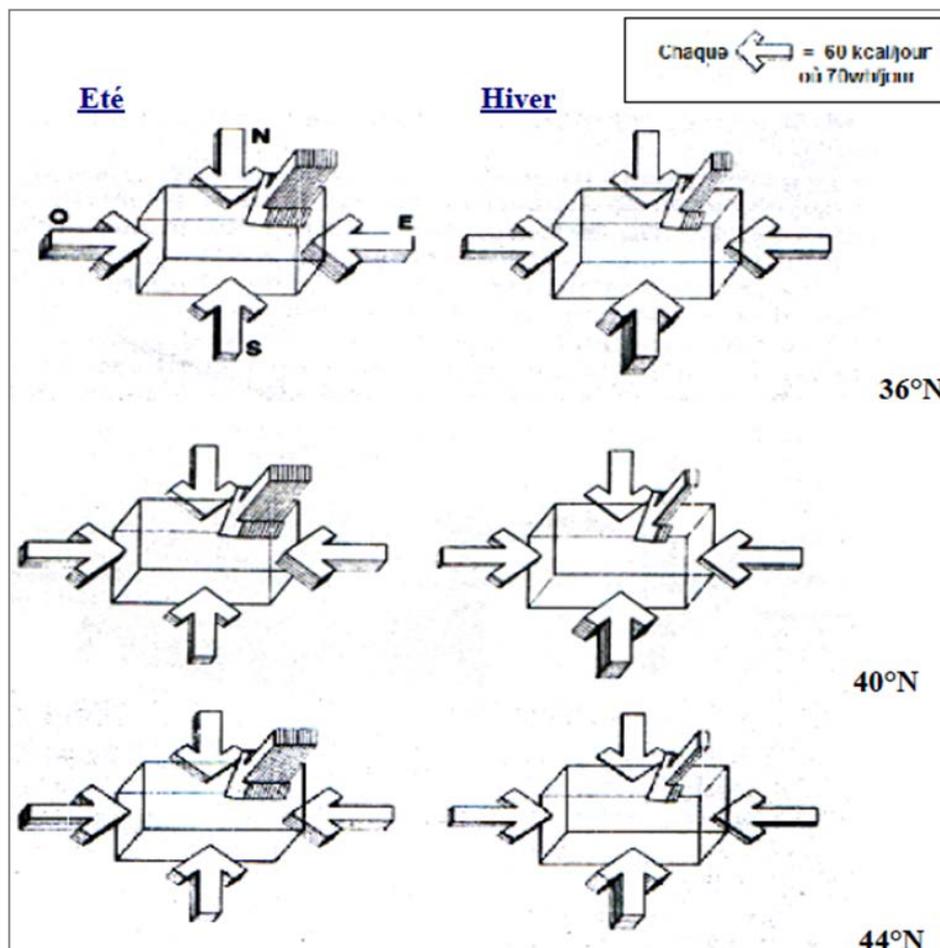


Fig III.5 : Intensité du rayonnement solaire sous différentes latitudes  
(Source : Mazria, 1980)

### III.2.2.2 Effet de l'orientation sur les températures des parois extérieures et de l'ambiance intérieure :

L'orientation des parois extérieures du bâtiment marque une influence sur la variation de leurs températures ainsi que celle de l'ambiance intérieure. Deux cas se présentent à ce sujet selon Givoni (1978) :

- **Les températures suivent les régimes de températures de l'air extérieur :**
  - Pour les températures des parois extérieures : en cas de l'absence du rayonnement solaire ;
  - Pour les températures d'ambiance intérieure : lorsque les matériaux constituant les parois se caractérisent par une faible absorption.

Dans ce cas, les températures sont indépendantes ou moins influencées par l'orientation.

- **Les températures se varient avec l'incidence du rayonnement solaire :**
  - Pour les parois extérieures : dans le cas où elles sont exposées au rayonnement solaire. Alors, leurs températures varient proportionnellement avec la quantité du rayonnement absorbé.
  - Pour l'ambiance intérieure : dans le cas où les parois d'enveloppe se caractérisent par une absorption élevée. Les températures suivent l'intensité des rayons solaires tombant sur la paroi et qui est en fonction de son orientation.

Contrairement au premier cas, les températures sont plus ou moins dépendantes à l'orientation des parois du bâtiment.

### III.2.2.3 Effet de l'orientation des parois vitrées sur les températures intérieures :

Les surfaces vitrées constituent des sources considérables d'apports thermiques. Plusieurs facteurs influencent la quantité d'irradiation solaire traversant une paroi vitrée : la morphologie du bâtiment, la taille de la paroi, les caractéristiques spectrales du verre, la menuiserie, l'orientation, l'albédo du sol, etc. Ainsi, lorsque les parois ont les mêmes caractéristiques et dimensions et sous les mêmes conditions climatiques, les principales différences entre elles sont dues à leur orientation.

L'effet de l'orientation des parois vitrées sur les températures d'ambiance intérieure est largement conditionné par la ventilation naturelle et le degré d'efficacité de la protection solaire.

Selon Givoni (1978), différents cas de présence des deux paramètres cités précédemment sont résumés ci-après.

- **Cas 01 : bâtiments non ventilés et pourvus d'occultations efficaces des ouvertures :** les températures intérieures sont pratiquement indépendantes de l'orientation.
- **Cas 02 : absence ou inefficacité de l'occultation et présence de la ventilation :** de petites variations dans les températures ambiantes selon l'orientation des ouvertures, mais évidemment, les surfaces internes exposées au rayonnement qui pénètre sont échauffées.
- **Cas 03 : aucune occultation et aucune possibilité de ventilation :** les différences dans l'échauffement solaire dues à l'orientation sont maximales et les régimes de températures ainsi que leurs niveaux connaissent de larges variations.
- **Cas 04 : conditions intermédiaires de ventilation et d'occultation :** L'influence de l'orientation des ouvertures est certaine, mais à un degré moindre.

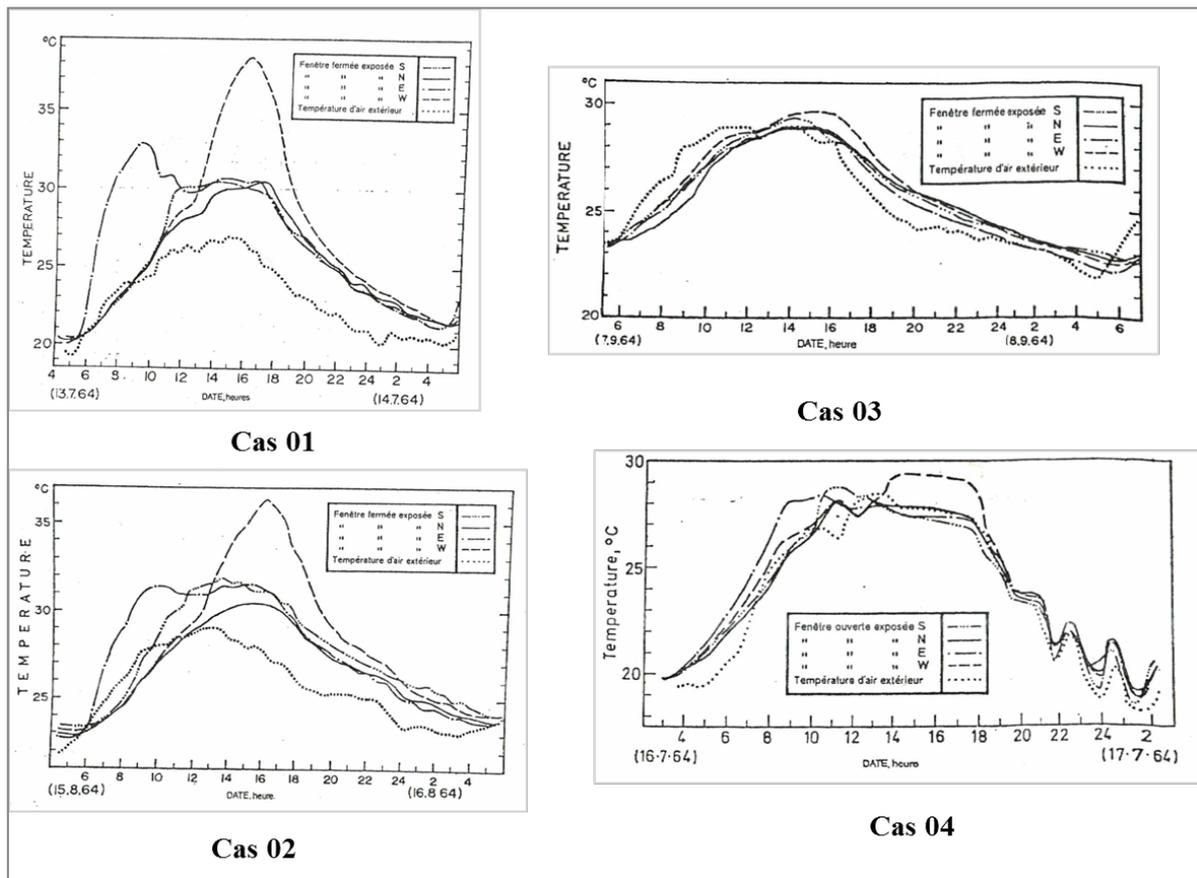


Fig III.6 : Influence de l'orientation des ouvertures sur les températures intérieures selon différents cas de disponibilité d'occultation et ventilation (Source : Givoni, 1978)

### III.2.3 Effet de l'orientation des ouvertures sur la ventilation :

L'orientation des fenêtres par rapport aux vents dominants a ainsi une influence sur la vitesse moyenne de l'air intérieur. Givoni (1978) a donné quelques recommandations afin d'assurer une ventilation satisfaisante et adéquate. Le principe est de prévoir des ouvertures aussi bien sur la façade « au vent » du bâtiment que sur la façade « sous le vent » :

- Si la façade comporte une ou deux ouvertures situées sur la façade sous le vent du bâtiment, la vitesse moyenne de l'air intérieur est très faible ;
- Si les ouvertures sont placées sur les deux façades dans le vent et sous le vent, la vitesse moyenne est beaucoup plus élevée, et elle dépend des dimensions de l'entrée et de la sortie de l'air et de la relation entre la direction du vent et l'axe joignant les deux issues ;
- Il n'est pas nécessaire d'orienter la façade principale d'un bâtiment long de façon que le vent pénètre perpendiculairement par les ouvertures ;
- Il est possible de provoquer une ventilation transversale dans les pièces ne disposant qu'une seule paroi extérieure, avec laquelle la direction du vent fait un angle de plus de 60°, en équipant chaque fenêtre de la paroi en question d'une saillie verticale.

### III.3 La surface et la distribution des ouvertures :

Le rôle principal de l'enveloppe d'un bâtiment reste la fermeture d'un espace de vie privé par rapport à l'espace public. Mais, pour garantir la qualité d'usage des espaces intérieurs, exercer des ouvertures représente une pratique inévitable. Les ouvertures sont, donc, l'interface entre l'intérieur et l'extérieur, entre le chaud et le froid, l'obscurité et la clarté, le vu et le caché (Ahier, 2009).

#### III.3.1 L'ouverture : une composante à usages multiples et contradictoires :

L'ouverture est la membrane sensible de l'enveloppe du bâtiment (Ahier, 2009), elle est l'un des plus complexes de ses composants voir le grand nombre de rôles contradictoires qu'elle doit jouer : éclairage et occultation, vue dehors et recherche d'intimité, pénétration du soleil et protection solaire, étanchéité et ventilation (Benradouane, 2008).

Les ouvertures remplissent, donc, des besoins et des exigences multiples, complexes et parfois contradictoires. Cependant, elles peuvent être aussi responsables de plusieurs problèmes et effets indésirables pour les occupants.

<b>Fonctions</b>	<b>Aspects positifs</b>	<b>Aspects négatifs</b>
<b>Energétique</b>	Elles sont des outils de captation d'énergie solaire qui garantissent un chauffage passif en période froide, occupant alors une place prépondérante dans la performance énergétique du bâtiment et participant à la gestion de l'énergie.	Elles sont responsables de déperditions de chaleur qui causent le problème d'inconfort thermique en hiver. Elles sont aussi vectrices des surchauffes en période chaude.
<b>Eclairage</b>	Elles jouent un rôle incontestable dans la transmission de la lumière naturelle.	Elles peuvent être une source d'éblouissement.
<b>Ventilation / aération</b>	L'air que l'on respire doit être régulièrement renouvelé pour garantir l'hygiène et la santé des occupants, les ouvertures remplissent cette fonction, elles permettent l'apport d'air neuf.	Elles peuvent être sources de courants et d'infiltrations d'air, ainsi que de ponts acoustiques.
<b>Contrôle social</b>	Les ouvertures sont les yeux du bâtiment, elles octroient le contact avec l'extérieur.	Vue vers l'intérieur et perte d'intimité.
<b>Esthétique</b>	Les ouvertures sont des outils très importants de la composition architecturale, elles octroient l'esthétique à la façade d'un bâtiment. Leur architectonique constitue un gage de la qualité architecturale d'un bâtiment.	Cette fonction esthétique des ouvertures peut nuire aux autres fonctions telles l'éclairage et l'énergétique.
<b>Fermeture / ouverture</b>	Etanchéité / résistance / sécurité	Agressions diverses.

Tableau III.1 : L'ouverture composante à usage multiples et contradictoires  
(Source : Auteur)

En outre, l'ouverture peut servir d'issue en cas d'incendie, mais elle alimente le feu en oxygène et constitue un chemin de propagation des flammes vers les autres étages ou bâtiments contigus.

### III.3.2 Critères conditionnant la conception des ouvertures :

Lors de la conception des ouvertures, il est nécessaire et utile de prendre en considération des exigences diverses, parfois contradictoires ; La taille, la disposition, le rythme, et les proportions des ouvertures traduisent une volonté de s'ouvrir et de communiquer avec l'extérieur ou au contraire de s'en protéger (Ahier, 2009), mais elles influencent aussi sur les possibilités d'éclairage naturel et d'utilisation de l'énergie solaire.

La conception et les caractéristiques des ouvertures sont donc le résultat d'un compromis qui répond au mieux à ces différents exigences contradictoires, c'est-à-dire à travers leur conception, essayer d'assurer les effets recherchés et nécessaires au type d'occupation des espaces intérieurs et d'éviter au plus possible les effets non souhaités et indésirables.

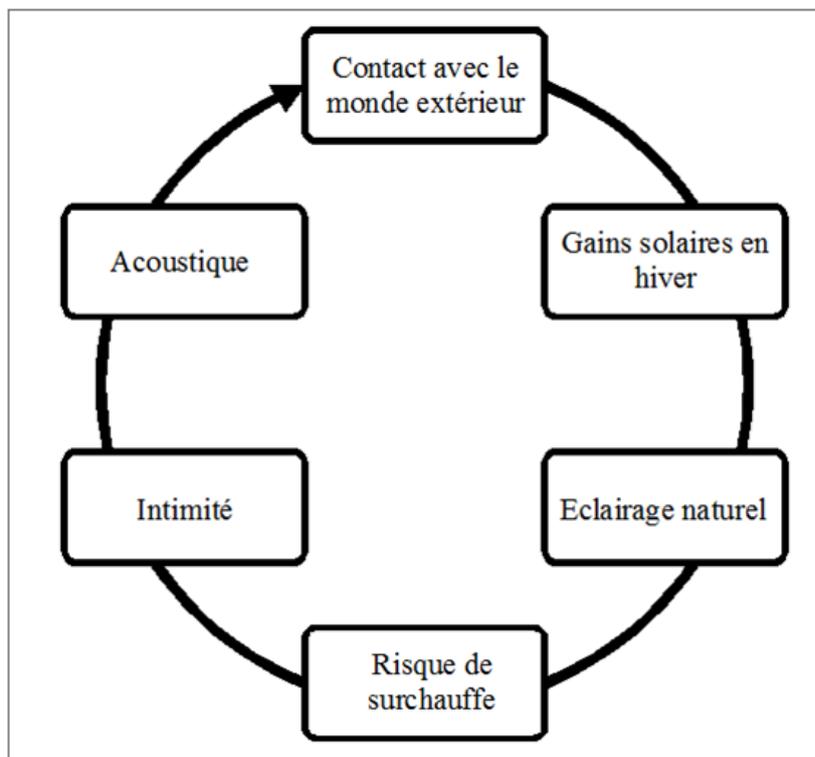


Fig III.7 : Conception de l'ouverture ; résultat d'un compromis de diverses exigences  
(Source : IBGE, 2010 réadapté par Auteur)

### III.3.3 Lorsqu'un flux solaire frappe une surface vitrée :

Un flux du rayonnement solaire, en tombant sur une surface vitrée, est divisé en trois parties principales :

- Une partie réfléchié ;
- Une partie absorbée dans l'épaisseur du verre. Cette partie est, par conséquent, dissipée vers l'autre face par convection et par rayonnement de grande longueur d'ondes (Givoni, 1978) ;
- Une partie transmise à travers le verre à l'intérieur des espaces.

Les deux proportions d'énergie réfléchié et transmise, à savoir la capacité de réflexion et de transmission du verre, dépendent de l'angle d'incidence du rayonnement solaire sur le vitrage. L'énergie transmise décroît lorsque cet angle est supérieur à  $45^\circ$ , tandis que l'énergie réfléchié augmente lorsque l'angle est au-dessus de  $60^\circ$  (Givoni, 1978), jusqu'à ce qu'elle soit totalement réfléchié pour un angle de  $90^\circ$ . Quant à la partie absorbée, elle est indépendante de l'angle d'incidence (Givoni, 1978), elle est liée plutôt aux propriétés spectrales du verre. Lorsqu'elle est dissipée à l'intérieur des espaces, cette partie sera absorbée par les surfaces intérieures. Ces dernières se réchauffent et réémettent un rayonnement de grande longueur d'onde auquel le verre est opaque. C'est « l'effet de serre » ; le rayonnement réémis est emprisonné dans l'espace intérieur ce qui cause donc l'échauffement de l'air et des parois intérieures.

### III.3.4 Paramètres qui influencent le bilan thermique d'une ouverture :

Par rapport à l'ouverture, les éléments influençant le bilan thermique sont :

#### III.3.4.1 Par rapport à l'architecture du bâtiment :

- **Orientation des ouvertures :**

L'orientation des parois opaques et transparentes de l'enveloppe d'un bâtiment donne une configuration appropriée à l'espace intérieur. Elle représente un facteur prépondérant dans la conception des fenêtres puisqu'elle fait référence à la situation géographique du bâtiment et détermine la quantité d'énergie solaire et de lumière naturelle reçue (Boucheham, 2010).

L'angle d'incidence, une propriété intéressante, détermine la quantité d'énergie solaire absorbée et réfléchié à travers les surfaces vitrées. Il est fonction de l'orientation de ces dernières :

- En hiver, où l'apport solaire est souhaité, les vitres placées côté Sud rattraperont aisément l'énergie solaire puisque le soleil est bas dans le ciel même à midi et les rayons solaires frappent la vitre avec un faible angle d'incidence ;
- Comme la position du soleil étant plus haute dans le ciel en été, son angle d'incidence du rayonnement est plus grand, un rayon solaire à midi sur une façade Sud ne pénètre que très peu à l'intérieur du bâtiment. Relativement un excès de chaleur indésirable est évité ;
- En été, sur le côté Ouest, le soleil est bas dans le ciel. Ses rayons, non seulement, ont un faible angle d'incidence, mais ils sont très chauds, ce qui implique leur pénétration et un apport solaire excessif à l'intérieur des espaces donnant sur cette orientation.

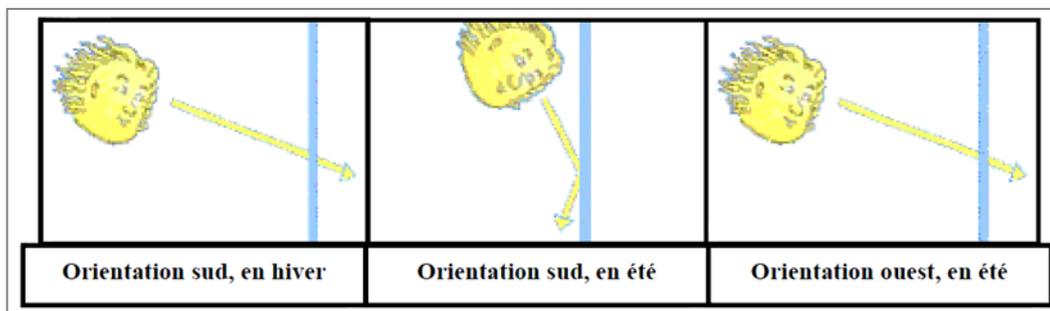


Fig III.8 : Angle d'incidence du rayonnement solaire selon l'orientation  
(Source : [www. Ideesmaison.com](http://www.Ideesmaison.com))

L'orientation Nord est porteuse de lumière diffuse et de vues. Les dimensions des ouvertures doivent rester limitées sinon il y a lieu de contrôler le risque d'éblouissement. Les surfaces vitrées zénithales, suivant leurs orientations, seront plus ou moins proportionnées aux surfaces vitrées verticales mais plus réduites car leur efficacité est plus grande.

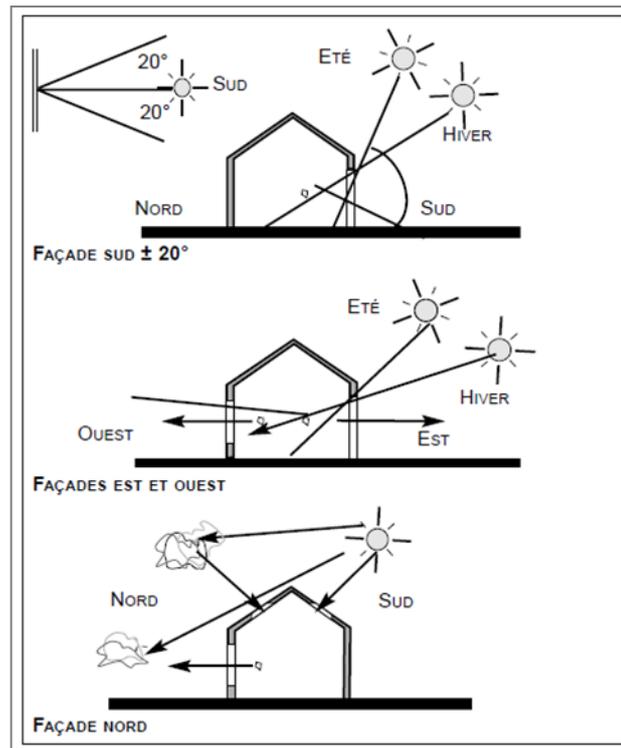


Fig III.9 : Ouvertures et leurs orientations  
(Source : Simon, 2001)

- **Surface des ouvertures :**

Le pourcentage des ouvertures s'avère un aspect fondamental pour l'équilibre lumière / thermique (Montenegro Iturra, 2011). Deux rapports importants « surface ouvertures / surface plancher » et « surface ouvertures / surface mur de façade » agissent sur les gains et les pertes thermiques d'un espace.

- **Forme des ouvertures :**

Pour une même surface vitrée, la forme d'une ouverture influence sur la quantité d'énergie solaire arrivant dans un espace intérieur.

La largeur et la hauteur d'une ouverture influence la répartition de la lumière solaire ; sa répartition devient moins uniforme avec la diminution de largeur de l'ouverture, d'un autre côté, elle arrive jusqu'au fond de l'espace avec la hauteur de l'ouverture.

En outre, la forme de la répartition de l'énergie solaire se diffère avec la forme de l'ouverture, une ouverture de forme ronde ou de forme rectangulaire donnant deux exemples différents de répartition.

- **Position des ouvertures :**

L'emplacement de l'ouverture dans l'enveloppe du bâtiment exerce une grande influence sur la pénétration de la lumière solaire et sur les gains thermiques dans les espaces intérieurs :

- Les ouvertures situées sur les parois horizontales (fenêtres de toit, coupoles, etc.) fournissent, pour une même surface vitrée, deux à trois fois plus de lumière naturelle que les ouvertures situées sur les parois verticales (Simon, 2001). Elles captent aussi plus d'énergie solaire pendant la période chaude ce qui cause le problème de surchauffe ; par contre, pendant la période froide, elles subissent de grandes pertes thermiques ;
- Les ouvertures situées sur les parois verticales permettent une pénétration différente du rayonnement solaire à l'intérieur d'un espace selon leurs diverses positions (haute, moyenne ou basse). La position haute permet à la lumière de pénétrer plus profondément.

### III.3.4.2 Par rapport aux détails architecturaux :

- **Dimension des surfaces de vitrage :**

Pour une même ouverture, selon le type de châssis et selon ses divisions, la surface transparente qui influence les gains solaires sera plus ou moins importante (Simon, 2001).

- **Qualité du vitrage et des autres matériaux constituant l'ouverture :**

Le coefficient de transmission d'énergie ou facteur solaire du vitrage a une influence considérable sur les gains solaires. Plus il sera élevé, plus les gains solaires seront élevés (Simon, 2001).

Dans un souci de réduire la consommation énergétique, une attention considérable a été donnée aux fenêtres pour améliorer leur effet sur les ambiances intérieures. L'utilisation du verre à basse émissivité, le verre réfléchissant et les façades à double peau ont montré leurs efficacités dans l'isolation contre les effets extrêmes du climat (Boucheham, 2010). Les verres absorbants, selon leurs épaisseurs, exercent une diminution du facteur solaire. Quant aux verres réfléchissants, ils peuvent provoquer l'éblouissement.

- **Présence ou non d'une protection solaire :**

Les protections solaires, selon leur conception et leurs dimensions, exercent une influence sur les gains solaires du fait qu'elles laissent ou empêchent pénétrer les rayons solaires selon les saisons.

### **III.3.5 Ouvertures et contrôle solaire :**

Il est très agréable de profiter du rayonnement solaire quand on est à la recherche d'un apport de chaleur. En revanche, il peut être fort désagréable en période chaude, de subir des gains solaires qui peuvent provoquer la surchauffe à l'intérieur des espaces et donc l'inconfort des occupants. Alors, il est indispensable de contrôler les apports solaires, c'est-à-dire compléter les ouvertures par des éléments de protection solaires qui participent au confort d'été. Ce point de la protection solaire des surfaces vitrées sera abordé dans la partie suivante du chapitre.

## **III.4 Protections solaires :**

Les parois transparentes du bâtiment sont souvent sujets à la réception d'intenses rayonnements solaires, qui peuvent être souhaitables en période du froid, mais conduisant à des risques d'éblouissement et de surchauffes, en période chaude. Les dispositifs de protection solaire viennent au secours du confort thermique et visuel en réduisant les surchauffes et les risques d'éblouissement, notamment par affectation de la quantité du rayonnement incident, modification et contrôle des températures intérieures.

### **III.4.1 Définitions :**

On entend par protection solaire, l'ensemble des paramètres qui ont pour effet de contrôler les échauffements dus aux apports solaires, par les parois transparentes, ou même par les parois opaques.

Les dispositifs de protection solaire varient au niveau de la forme, des matériaux et d'utilisation. Leurs formes et utilisations varient aussi selon le climat dominant, l'orientation des façades, les matériaux utilisés, l'architecte concepteur et le particularisme de la société (Alkhouli, 2006).

### III.4.2 Fonctions principales des dispositifs de protection solaire :

Les protections solaires permettent de remplir plusieurs fonctions selon leurs caractéristiques et la situation donnée. Alors, le choix du type de protections solaires dépend de l'importance d'une telle fonction :

- Contrôler l'environnement visuel (couleur, lumière, contraste, vues vers l'extérieur) et limiter essentiellement l'éblouissement ;
- Contrôler la pénétration du rayonnement solaire direct, souvent indésirable dans les espaces intérieurs, ayant des impacts sur les charges de refroidissement à cause des surchauffes, la longévité des matériaux et le confort humain ;
- Contrôler la température ambiante intérieure ;
- Assurer l'intimité des occupants ou occulter un espace ;
- Augmenter le pouvoir isolant des parois vitrées;
- Assurer la protection physique pour les vitrages ;
- Eviter la décoloration de certains matériaux ;
- Participer à l'expression esthétique des façades du bâtiment.

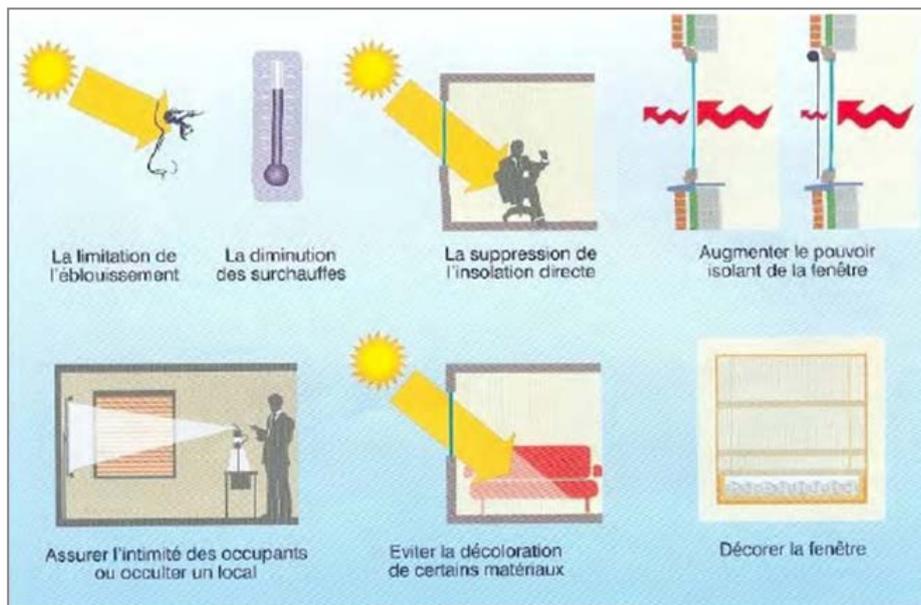


Fig III.10 : Fonctions des protections solaires  
(Source : Liébard, 2004 cité par Alkhouli, 2006)

### **III.4.3 Les différents types de protections solaires :**

On compte quatre types principaux de protections solaires qui sont : les protections solaires liées à l'environnement, les éléments architecturaux, les vitrages protecteurs ainsi que des dispositifs de brise-soleil.

#### **III.4.3.1 Les protections liées à l'environnement :**

La végétation et les plantations présentent un moyen efficace d'ombrage du tout l'enveloppe du bâtiment (parois transparentes, parois opaques, toitures) du rayonnement solaire, elle permettra de moduler les apports solaires en fonction des saisons. L'efficacité de ce moyen d'ombrage dépend du type des plantes, de l'espèce, et de l'âge. Le rythme végétatif annuel des arbres à feuilles caduques accompagne les besoins du bâtiment tout en favorisant une occultation en période chaude et en laissant pénétrer le rayonnement direct en hiver.

L'environnement bâti proche forme aussi des écrans fixes projetant l'ombre sur le bâtiment.

#### **III.4.3.2 Les éléments architecturaux :**

La morphologie du bâtiment peut participer ainsi à la définition des masques solaires. Certains éléments architecturaux, qui donnent une expression au bâtiment, peuvent projeter de l'ombre sur des parties de l'enveloppe. C'est le cas des surplombs des toitures, des débordements latéraux, des encorbellements, des balcons et des arcades.

#### **III.4.3.3 Les vitrages protecteurs :**

La technologie de production des vitrages a élargi le champ d'utilisation de ce matériau de construction. L'emploi des vitrages absorbants, des vitrages réfléchissants, l'application de films réflecteurs sur des vitrages à hautes performances constitue un moyen de réduire la transmission solaire et d'accroissement de protection solaire, de manière constante, au cours de l'année. Ces types de vitrage peuvent être la solution lorsque les brise-soleil sont indésirables ou difficile à réaliser. Cependant, ce type présente des inconvénients tels que la réduction de la transmission lumineuse et par conséquent une surconsommation de l'éclairage artificiel, ainsi, il ne permet pas la modulation du contrôle solaire selon les besoins saisonniers (ADEME, 2003).

#### III.4.3.4 Les dispositifs de brise-soleil :

On désigne par « brise-soleil » dans son sens le plus général, que se soit un dispositif dont le rôle essentiel n'est pas de « briser » le soleil, par exemple une loggia, ou que ce soit un dispositif dont le rôle spécifique est d'éviter que tout ou partie du rayonnement solaire pénètre à travers une ouverture (Lavigne, 1998).

#### III.4.4 Classifications des dispositifs de protection solaire :

Le choix du type de protection solaire à mettre en place pour un projet dépend de nombreux facteurs tels que : la latitude du site considéré, l'orientation des baies vitrées, le type de contact désiré avec l'extérieur ou le mode d'occupation du local à protéger. D'autres critères peuvent s'ajouter pour influencer le choix de la protection tels que : sa résistance mécanique, sa maintenance, son coût ou la possibilité d'ouvrir les ouvertures pour créer une ventilation naturelle du bâtiment (Alkhouli, 2006).

Deux classifications des protections solaires sont couramment utilisées : l'une en fonction de leur position par rapport à l'élément à protéger et l'autre par rapport à leur mobilité.

##### III.4.4.1 Par rapport à la position des dispositifs de protection solaire :

Le choix de la position de protection solaire peut être en rapport avec plusieurs considérations tel le contrôle des surchauffes à l'intérieur du bâtiment et le rapport expressif au niveau des façades.

D'un point de vue thermique, une même protection solaire placée différemment par rapport à l'élément à protéger donne des résultats différents d'efficacité en matière de lutte contre les surchauffes.

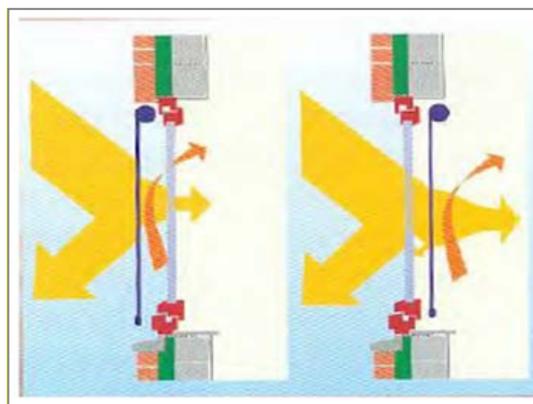


Fig III.11 : Comportement d'une protection solaire selon sa position par rapport à l'ouverture  
(Source : Liébard, 2004 cité par Alkhouli, 2006)

- **Les dispositifs intérieurs de protection solaire :**

Les dispositifs intérieurs protègent les occupants des effets directs du rayonnement solaire et de l'éblouissement, et peuvent servir pour assurer l'intimité. Ils se présentent sous forme de stores vénitiens, stores à enroulement ou rideaux.

L'avantage majeur de ce type est de procurer une bonne protection solaire durant la période chaude, sans limiter les gains solaires en hiver ni réduire l'éclairage ou la ventilation naturelle. Leur manipulation facile permet de les tirer seulement quand l'incidence du soleil le nécessite. Cependant, ce type présente un inconvénient qui se résume dans le fait que la radiation solaire, une fois admise dans le bâtiment, est absorbée par les éléments opaques ou transparents, élevant ainsi la température intérieure. Munis de revêtements réfléchissants, ces protections solaires peuvent réfléchir une partie du rayonnement solaire vers l'extérieur, et réduisent cet effet de serre, néanmoins une autre partie est toujours transmise. Pour ces raisons, ils doivent être de couleur claire.

- **Les dispositifs extérieurs de protection solaire :**

L'emplacement des protections solaires à l'extérieur par rapport à l'élément à protéger représente l'avantage d'intercepter le rayonnement solaire avant d'être pénétré dans l'espace, et par conséquent éviter les gains solaires et les problèmes de surchauffe. Cependant, ces protections extérieures peuvent avoir des inconvénients à savoir : le fait de dégradation sous l'effet des intempéries donc la nécessité d'en être résistants, la difficulté d'entretien ainsi qu'elles peuvent influencer le côté esthétique de la façade.

Par rapport à la position des dispositifs de protection solaire, les dispositifs extérieurs sont toujours meilleurs. Le graphe de la figure ci-dessus montre les régimes de températures intérieures en rapport de différents types de protections.

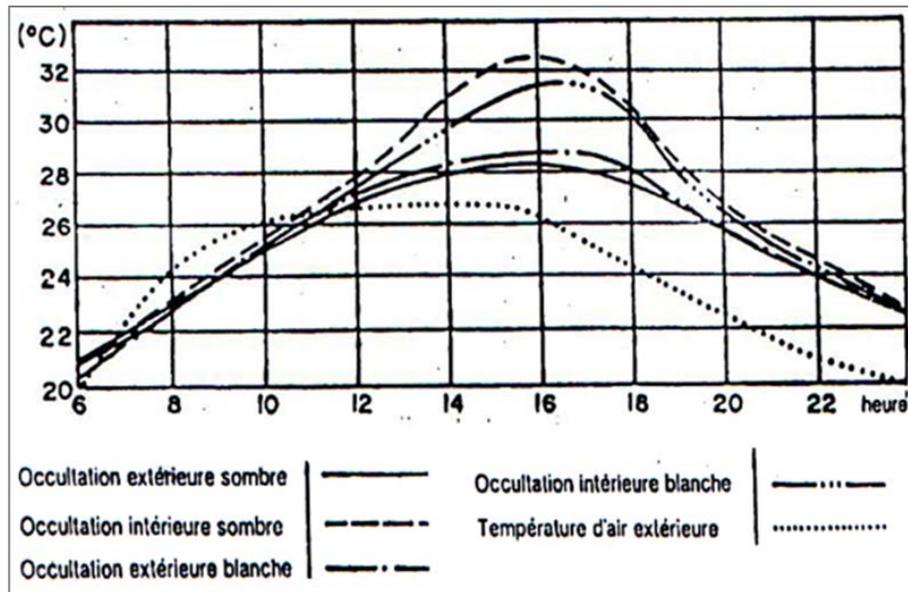


Fig III.12 : Régimes de températures intérieures pour différents systèmes d'occultation (Source : Givoni, 1978)

#### III.4.4.2 Par rapport à la mobilité des dispositifs de protection solaire :

Les deux principales catégories des dispositifs de protection classées par rapport à leur mobilité sont : les protections mobiles et les protections fixes.



Fig III.13 : (a) Protection fixe (b) Protection mobile (Source : Liebard, 2004 cité par Alkhoul, 2006)

- **Dispositifs mobiles de protection solaire :**

Les protections mobiles ou ajustables permettent de moduler l'énergie solaire pénétrante selon des conditions variables. Ces protections peuvent être placées sur le côté intérieur du vitrage (cas de voilages, stores intérieurs, rideaux) ou sur le côté extérieur (cas des stores, volets roulants, persiennes), ainsi qu'entre les vitres d'un vitrage multiple. L'efficacité de

ces protections dépend de leur emplacement par rapport au vitrage, de leur opacité et des possibilités de ventilation de l'espace entre la fenêtre et la protection (une bonne ventilation évite l'effet radiateur).

La modulation des apports solaires peut être assurée par le retrait partiel ou complet de la protection ou par l'inclinaison de ses lamelles. Ainsi, elle peut être gérée par l'occupant de façon manuelle, motorisée (par télécommande) ou automatique (grâce à un régulateur) (Alkhouli, 2006).

Les réalisations architecturales comportant des protections mobiles présentent des dispositifs allant du simple voilage de la villa Savoye (Le Corbusier) aux savants diaphragmes de l'Institut du Monde Arabe (Jean Nouvel), en passant par les toiles tendues (Philip Johnson) (Izard, 1993).

Les protections mobiles présentent l'avantage de fournir plus de flexibilité d'être adaptées en fonction des conditions extérieures telle que la position du soleil ou en fonction des souhaits des occupants. Leur emploi permet donc une meilleure adaptation de la protection aux besoins réels des utilisateurs. Cependant, elles présentent des inconvénients dont le principal est lié à la gestion de manipulation de la protection, spécialement dans le cas de la manipulation manuelle et automatisée. De plus ces systèmes présentent le problème de leur durabilité surtout pour le cas de placement à l'extérieur, ils doivent être suffisamment robustes pour résister aux intempéries comme le cas du vent. *« D'une autre part, pour le cas du placement à l'intérieur, le problème d'effet de serre est alors possible, surtout si sa surface externe est absorbante ; dans ce cas la chaleur est générée à l'intérieur du bâtiment, comme dans un capteur solaire à air et l'efficacité de la protection n'est que relative »* (Izard, 1993). Un autre inconvénient est celui des coûts élevés d'investissement ainsi que de maintenance et d'entretien.

- **Dispositifs fixes de protection solaire :**

Les dispositifs de protection solaire fixes sont des éléments architecturaux d'une grande importance. Ce type constitue une partie intégrante de l'enveloppe du bâtiment ou du vitrage et est souvent utilisé comme moyen d'expression architecturale par les concepteurs. Ces dispositifs permettent d'intercepter l'entrée totale ou partielle du rayonnement solaire à l'intérieur des espaces et protègent les parois transparentes ainsi qu'opaques en influençant considérablement les performances thermiques et la qualité de l'éclairage

naturel. Parmi lesquels, on peut citer les pilastres, péristyles, brise-soleil, consoles tels que balcon, loggia, saillies, refends, débord de toitures et toutes sortes d'éléments structurants.

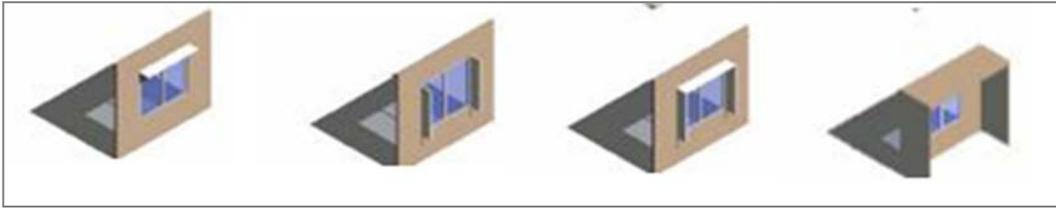


Fig III.14 : Protections solaires fixes  
(Source : Lee, 2002)

La dépendance de la performance des protections solaires fixes de la course solaire présente leur inconvénient principal ce qui peut entraîner le problème d'un ombrage aux périodes du chauffage où les rayons solaires sont recherchés pour un chauffage solaire passive. En outre, ce type diminue les performances de l'éclairage naturel du fait qu'il limite la pénétration d'une partie du rayonnement diffus jugée avantageuse dans certaines conditions comme c'est le cas d'un ciel couvert.

#### **III.4.5 Données relatives à la détermination de la performance des protections solaires :**

Trois types de données (géométrie, orientation, latitude) sont indissociables dans la détermination de la performance d'un système de protection solaire, ce qui fait qu'il soit difficile, pour ne pas dire imprudent, de procéder à des généralisations associant directement forme et performance (Velay-Dabat, 2004).

Le choix des formes et des dimensions des dispositifs de protection solaire dépendent de l'orientation et des dimensions de la surface à protéger du fait qu'elle détermine la quantité d'énergie solaire incidente.

Pour assurer une protection solaire adéquate, la conception des dispositifs implique quatre étapes : déterminer quand l'ombrage est exigé ; déterminer la position du soleil au moment où l'ombrage soit exigé ; déterminer les dimensions et les proportions du dispositif choisi d'ombrage et finalement concevoir et structurer le dispositif d'ombrage.

### III.4.6 Typologie des principaux effets architecturaux d'ombrage :

#### III.4.6.1 Pour les parois verticales :

- **L'effet d'auvent** : constitué d'une avancée horizontale au-dessus de la surface réceptrice : auvent, débord de toit, débord de dalle, balcon filant, brise-soleil horizontal, casquette, linteau de fenêtre, écran à lames horizontales ;
- **L'effet du flanc** : constitué par des pans verticaux à côté de la surface réceptrice : décrochement de façade, saillie de refends, tableau de fenêtre, écran à lames verticales ;
- **L'effet de loggia** : combine l'auvent et le flanc : loggia, tableaux + linteau de fenêtre, balcon filant + séparation verticale, écran à lames croisées (boîtes à œufs) ;
- **L'effet de vis-à-vis** : façades en vis-à-vis, mur de clôture, haie végétale, garde-corps plein ;
- **L'effet du patio** : patio, cour intérieure, puits de lumière.

Selon Izard (2006), l'efficacité de chacun de ces effets est différente d'une orientation à une autre :

- Les masques architecturaux définis par des plans horizontaux (auvent, loggia) sont plus efficace en orientation Sud et moins efficace en orientation Est et Ouest ;
- Les masques architecturaux définis par des plans verticaux (flanc) sont peu efficace en toutes orientations ;
- Les masques architecturaux définis par un plan frontal (vis-à-vis, patio) sont plus efficace en orientations Est et Ouest qu'en orientation Sud.

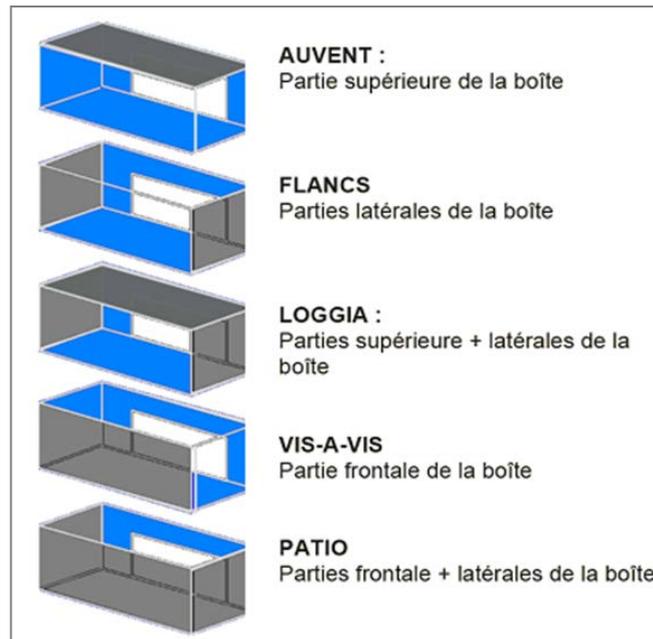


Fig III.15 : Génération de masques architecturaux à partir d'une boîte entourant la baie (Source : Izard, 2006)

#### III.4.6.2 Pour les parois horizontales :

Pour la protection des parois horizontales, on peut citer le « Toit parasol » qui peut se présenter sous forme d'une paroi pleine comme le cas du type de Le Corbusier à villa Shodan à Ahmedabad, ou sous la forme allégée d'un écran à lames, cas de type de Mario Cucinella et une grande partie de l'architecture dite « High-tech » (Izard, 1993).

#### III.4.7 Synthèse :

En période chaude, un bâtiment mal protégé du soleil est le siège de surchauffes, donc, de conditions thermiques inconfortables. Assurer le confort d'été exige de mettre en place une stratégie du froid. Celle-ci consiste à protéger le bâtiment, et particulièrement ses ouvertures, de l'ensoleillement direct afin de limiter les gains directs. La conception d'une protection solaire estivale efficace est par conséquent fondamentale pour qu'un bâtiment soit thermiquement et énergétiquement performant.

Quelque soit le type du masque choisi, il pourra être l'opportunité d'une valorisation architecturale. Cependant ce choix doit être fait de façon que la protection solaire n'atténue pas la transmission lumineuse, qu'elle valorise au mieux l'éclairage naturel et qu'elle n'empêche pas la pénétration du rayonnement direct pendant des périodes où elle serait souhaitée, ou au contraire qu'elle laisse passer les rayons solaires lorsqu'ils sont indésirables générant des problèmes d'éblouissement et d'inconfort thermique.

### **III.5 Forme et matériaux :**

L'enveloppe extérieure d'un bâtiment sépare et protège l'intérieur d'un climat souvent variable, elle joue un rôle déterminant dans les échanges thermiques, entre les ambiances extérieures et intérieures, grâce aux propriétés thermophysiques des matériaux qui la constituent. C'est en fonction de ces propriétés que la chaleur en provenance de l'extérieur peut être amortie et même subir un retard avant son arrivée dans l'espace intérieur (Kemjou, 2011).

#### **III.5.1 Transferts de chaleur d'une paroi :**

Un bâtiment, quel qu'en soit l'usage, est un environnement complexe, il est le siège de multiples transferts de masse et de chaleur. Composé de plusieurs éléments liés entre eux, il présente un comportement thermique complexe et les transferts thermiques entre ses éléments se font simultanément par conduction, convection et rayonnement (Mokhtari, 2008).

##### **III.5.1.1 Conduction :**

La conduction est le phénomène de transmission de chaleur à travers un ou plusieurs corps solide en contact direct. Le sens de cette propagation d'énergie est toujours du plus chaud vers le plus froid. L'importance de ce flux est directement proportionnelle à la conductivité thermique et à la différence de température entre les deux faces.

##### **III.5.1.2 Convection :**

Ce mode de transfert de chaleur est propre aux fluides tels que l'eau et l'air. Au contact d'un élément chaud, le fluide se met en mouvement et se déplace vers l'élément froid au contact duquel il perd sa chaleur créant ainsi un mouvement vertical qui accélère les échanges thermiques entre les deux éléments.

Dans un bâtiment, à des températures égales de l'air, une paroi extérieure exposée au vent se refroidira plus vite qu'une paroi non exposée (Fuchs, 2010). En outre, plus la vitesse de l'air est importante plus il y a convection.

### III.5.1.3 Rayonnement :

C'est un mode de transfert thermique d'un élément à un autre par ondes électromagnétiques sans contact direct. Il ne nécessite pas un milieu intermédiaire, il peut se produire même dans le vide. Les rayons se propagent dans l'espace pour être interceptés par les solides.

L'intensité du rayonnement thermique provenant d'une surface dépend non seulement de la température de cette surface, mais aussi de son émissivité. Plus l'émissivité est faible, moins il y aura de transfert par rayonnement.

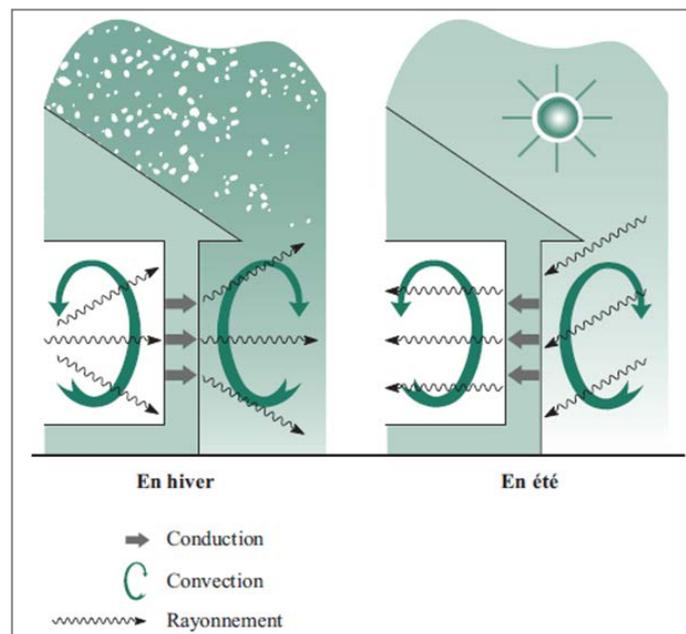


Fig III.16 : Transferts de chaleur dans le bâtiment  
(Source : Fuchs, 2010)

### III.5.2 Caractériser un matériau :

Comprendre les valeurs thermiques qui caractérisent les matériaux est indispensable pour un choix judicieux en ce qui concerne l'efficacité thermique du bâtiment.

#### III.5.2.1 Conductivité thermique :

C'est une grandeur physique caractérisant le comportement du matériau lors du transfert de chaleur par conduction.

Le coefficient de conductivité thermique «  $\lambda$  » quantifie le flux de chaleur traversant en une seconde  $1\text{m}^2$  d'un matériau homogène pour un écart de température de  $1^\circ\text{C}$  entre ses deux faces. Ce coefficient s'exprime en  $\text{W}/\text{m}^\circ\text{C}$ , plus sa valeur est réduite, plus le matériau est isolant.

	sec	hum.	
Matériaux isolants	0,028		polyuréthane
	0,040		laine minérale, liège
	0,058		vermiculite
	0,065		perlite
Bois et dérivés	0,17	0,19	feuillus durs
	0,12	0,13	résineux
Maçonneries	0,27	0,41	briques 700-1 000 kg/m <sup>3</sup>
	0,54	0,75	briques 1 000-1 600 kg/m <sup>3</sup>
	0,90	1,1	briques 1 600-2 100 kg/m <sup>3</sup>
Verre	1,0	1,0	
Béton armé	1,7	2,2	
Pierres naturelles	1,40	1,69	tuft, pierre tendre
	2,91	3,49	granit, marbres
Métaux		45	acier
		203	aluminium
		384	cuivre

**Conductivité thermique  $\lambda$  des matériaux en W/m.K**

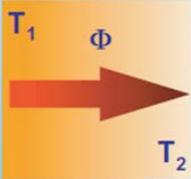


Fig III.17 : Valeurs de conductivité thermique pour quelques matériaux  
(Source : Liébard, 2005)

### III.5.2.2 Résistance thermique :

Elle caractérise la capacité d'un matériau à ralentir le transfert de chaleur réalisé par conduction. Elle s'exprime en m<sup>2</sup>.°C/W. La capacité isolante d'un matériau est mesurée par sa résistance thermique « R ». Un matériau à fort pouvoir isolant a une résistance thermique élevée et inversement.

À l'inverse de la résistance, le coefficient de transmission surfacique « U », mesure l'aptitude d'un système à laisser passer la chaleur.

### III.5.3 Stockage et restitution de chaleur :

#### III.5.3.1 Capacité thermique :

Elle désigne la faculté d'un matériau à emmagasiner la chaleur par rapport à son volume. Noté par « C » et exprimée en J/Kg°C, elle se définit par la quantité de chaleur mise en réserve par un 1m<sup>3</sup> du matériau lorsque sa température augmente de 1°C.

Plus la capacité thermique est grande, plus le flux de chaleur traversant le matériau décroît et les fluctuations thermiques sont réduites.

#### III.5.3.2 Effusivité :

L'effusivité caractérise la capacité d'un matériau à réagir à un apport de chaleur interne. Un matériau d'effusivité élevée absorbe rapidement une grande quantité d'énergie sans se réchauffer notablement. Si son effusivité est faible, le matériau se réchauffe en surface en peu de temps.

L'effusivité représente un paramètre non négligeable du confort thermique. C'est cette caractéristique qui donne en hiver la sensation du mur froid, synonyme d'inconfort thermique. Le contact de la main avec une paroi en faïence est un exemple ; la paroi semble froide car son matériau à forte effusivité absorbe rapidement la chaleur de la peau (Fuchs, 2010).

**III.5.3.3 Diffusivité :**

La diffusivité thermique caractérise la vitesse à laquelle la chaleur se propage, par conduction, dans un corps. Plus la diffusivité d'un matériau est élevée, plus il s'échauffe et se refroidit rapidement. La diffusivité est directement liée à la conductivité thermique, à la capacité thermique ainsi qu'à la masse volumique d'un matériau. Elle croît avec la conductivité thermique d'un matériau et décroît avec sa capacité thermique et sa masse volumique.

Appliquée à un bâtiment, la diffusivité d'un matériau d'une paroi permet de gérer le temps de restitution de la chaleur. Le déphasage ainsi créé est un paramètre essentiel dans l'optimisation du confort d'été. Un fort déphasage permet de retarder le transfert du flux de chaleur de l'extérieur vers l'intérieur.

Dans le bâtiment et afin de réduire l'amplitude d'un flux thermique, les parois de son enveloppe doivent être caractérisées par une faible diffusivité et une forte effusivité (Izard, 1993).

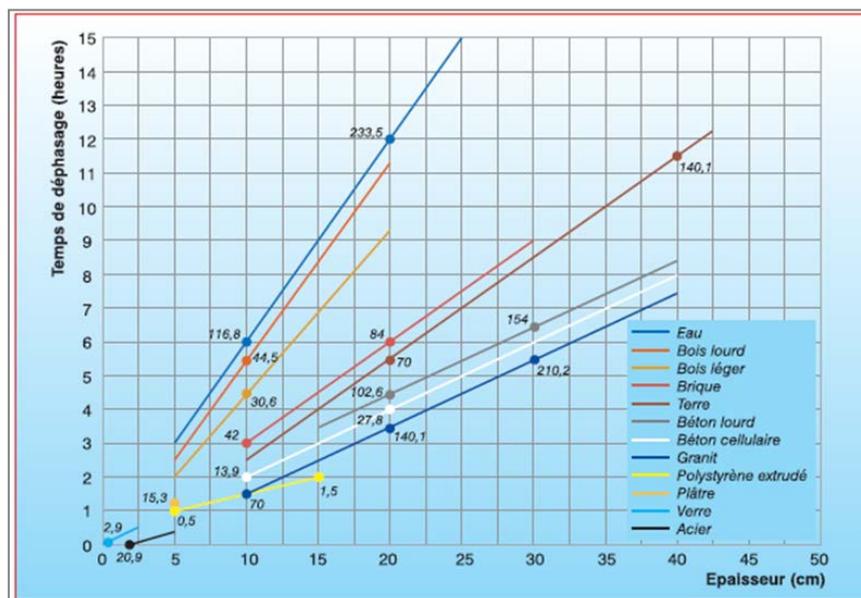


Fig III.18 : Temps de déphasage de divers matériaux de construction (Source : Liébard, 2005)

### III.5.4 Propriétés et performances thermiques d'une paroi :

L'enveloppe du bâtiment est composée habituellement par deux types de parois : opaques et transparentes. Elle sépare et protège l'intérieur des variations climatiques en régulant l'ambiance intérieure selon les propriétés thermophysiques de ses parois et des matériaux constituants.

#### III.5.4.1 Isolation thermique :

En saison froide, une grande partie des calories s'échappe des bâtiments en traversant par conduction les parois extérieures. Les matériaux isolants permettent de limiter ces pertes. Des parois bien isolées diminuent les transferts de chaleur de 25 à 35 % des transferts totaux du bâtiment (Medjelekh, 2010).

L'isolation thermique joue, donc, un rôle important dans la performance thermique du bâtiment, préserve le confort et réduit les échanges thermiques avec l'ambiance extérieure. En hiver, elle ralentit la fuite de la chaleur de l'intérieur vers l'extérieur. En été, au contraire, elle rafraîchit le bâtiment en limitant les apports de chaleur. L'isolation aide également à éviter les condensations et la désagréable sensation du « mur froid » qui oblige à surchauffer l'air pour conserver un niveau suffisant du confort.

Un isolant peut se placer de diverses manières dans une paroi (côté extérieur, entre les matériaux constituant la paroi ou côté intérieur) sans influencer la qualité d'isolation thermique de la paroi. Cependant, sa position modifie l'inertie de la paroi, selon l'ANAH, l'isolation par l'extérieur entraîne une forte inertie puisque la température intérieure évolue très lentement. Or l'isolation par l'intérieur fait baisser l'inertie (ANAH, 1995 cité Medjelekh, 2010). Pour Szokolay (1980), la masse thermique du côté interne de l'enveloppe et l'isolation de son côté externe donne de bonnes performances thermiques en climat chaud et aride, du fait que la masse thermique possède l'habileté d'emmagasiner la chaleur et l'isolation possède l'habileté de ralentir son transfert à l'intérieur (Szokolay, 1980 cité par Medjelekh, 2010).

#### III.5.4.2 Inertie thermique :

L'inertie thermique est une grandeur qui caractérise le retard et l'amortissement que subit un flux thermique avant d'arriver à l'intérieur. C'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, 2005). Elle est liée aux deux grandeurs thermiques à savoir l'effusivité et la diffusivité.

L'inertie thermique peut apporter un atout pour l'ambiance intérieure. Elle permet de piéger et d'emmagasiner les calories, captées du rayonnement solaire, dans la masse des parois extérieures pour les restituer dans l'environnement intérieur plus tard lorsqu'elles sont avantageuses (pendant la nuit). Tout en créant une circulation naturelle de l'air par les ouvertures, la masse se décharge dans l'air de la nuit.

Deux types d'inertie thermique existent : une inertie de transmission et une autre par absorption. L'inertie de transmission agit par résistance à la transmission de la température et de chaleur. Pour les matériaux constituant une paroi, elle augmente avec l'épaisseur et diminue avec la diffusivité et la conductivité. Celle par absorption réduit les variations de température en absorbant ou en restituant la chaleur, elle augmente avec l'effusivité de la paroi (Lavigne, 1998).

#### **III.5.4.3 Absorption :**

Propriété déterminé par un « facteur d'absorption » qui exprime le rapport entre l'énergie solaire absorbée par une surface horizontale ou verticale et l'énergie solaire incidente. Sa valeur varie entre 0 (pour une surface absorbante) et 1 (pour une surface réfléchissante). Ce facteur est complémentaire à un autre qui est « le facteur de réflexion ».

Ces deux facteurs dépendent aussi de la couleur de la surface. Plus la couleur est sombre, plus la surface est absorbante et moins réfléchissante. Il faut prendre en considération le risque d'éblouissement des parois verticales claires.

### **III.5.5 Comportement thermique des parois :**

Le confort thermique dans un bâtiment dépend essentiellement du comportement thermique de son enveloppe soumise aux contraintes climatiques. L'enveloppe extérieure du bâtiment est la première protection de l'ambiance intérieure contre les variations de températures (chaleur, froid).

#### **III.5.5.1 Parois opaques :**

Lorsqu'un flux d'énergie solaire frappe une paroi opaque sous forme du rayonnement, une partie est directement réfléchi, une partie traverse les matériaux constituant et se transmet à l'intérieur par conduction (donc, il n'existe pas de transmission directe) et une partie est absorbée.

La quantité d'énergie transmise est proportionnelle à la conductance de la paroi, cependant la chaleur absorbée est stockée dans le matériau qui dépend de sa capacité calorifique, et du déphasage qui influence sur le délai de transmission du flux de l'extérieur vers l'intérieur.

Outre les qualités intrinsèques d'une paroi opaque, les gains solaires sont aussi fonction de l'angle d'incidence des rayons solaires, de l'orientation et de l'inclinaison de la paroi, de la couleur (lorsque par exemple la surface extérieure est peinte en blanc, l'absorption est basse, la réflexion est élevée et la température ambiante extérieure a un effet thermique important que celle des radiations solaires. Par la couleur noire, l'effet des radiations est plus dominant) et de l'aspect de la surface du matériau utilisé (la texture du matériau ou de la surface de la paroi conditionne le type de réflexion. Si la surface est mate, la réflexion est diffuse, identique dans toutes les directions. Si la surface est polie, la réflexion est spéculaire, dans direction symétrique à la direction incidente).

### **III.5.5.2 Parois transparentes :**

Une parmi les propriétés caractérisant les matériaux transparents est la capacité de transmettre directement l'énergie rayonnante ; ceci concerne essentiellement les rayons de grandes longueurs d'onde.

L'énergie solaire en tombant sur une surface transparente est divisée en trois composantes : une partie est réfléchiée immédiatement par le vitrage, n'ayant aucun effet thermique sur le matériau, une deuxième partie est directement transmise vers l'intérieur à travers le matériau. Ces deux proportions d'énergie, à savoir le pouvoir de réflexion et de transmission, dépendent de l'angle d'incidence du rayonnement solaire ; La troisième partie est absorbée par le matériau qui s'échauffe et par conséquent, elle est dissipée vers l'intérieur par convection et par rayonnement de grande longueur d'onde, qui sera absorbé par les surfaces et les objets se trouvant à l'intérieur, ce qui a pour effet d'élever leur température, donc ils émettent à leur tour un rayonnement de grande longueur d'ondes auxquels le verre est opaque, à cause de ses propriétés spectrales (matériau sélectif) et c'est « l'effet de serre » : tout le rayonnement solaire transmis par le vitrage est piégé à l'intérieur contribuant ainsi à l'échauffement général de l'air et des parois.

## Conclusion :

Le corps humain a un certain équilibre thermique et afin de préserver cet équilibre, il devrait être protégé contre les effets des conditions extérieures rigoureuses. Le bâtiment considéré comme une troisième peau de l'homme doit remplir cette fonction ; il se présente donc comme enveloppe qui sépare ses occupants d'un climat extrêmement variable souvent inconfortable et leur fournit un confort adéquat.

La forme du bâtiment est l'une des considérations les plus importantes à l'étape conceptuelle, ces caractéristiques peuvent affecter la performance du bâtiment dans beaucoup d'aspects : coût, esthétique et surtout efficacité thermique.

La morphologie du bâtiment est un facteur déterminant des gains et pertes de chaleur à l'intérieur du bâtiment, cela est expliqué par le fait qu'elle couvre plusieurs éléments importants tels que la compacité et les surfaces exposées au rayonnement solaire qui impliquent des gains solaires différents selon leurs orientations. Donc, une orientation soignée du bâtiment peut limiter les apports solaires et réduire les charges thermiques. De ces surfaces exposées, les surfaces vitrées sont très critiques. Leur conception, orientations et dimensions doivent être effectuées de la façon qui permet d'éviter des gains solaires en période chaude et des pertes en période froide. Les protections solaires peuvent aussi aider à atteindre cet objectif et viennent au secours du confort thermique et visuel. En outre, les matériaux de construction de l'enveloppe du bâtiment constituent, par leurs caractéristiques thermophysiques, un élément important qui agit sur les transferts de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur des espaces.

Alors, la forme du bâtiment doit être conçue, par la conjugaison de ces paramètres, comme un filtre régulateur, entre l'intérieur et l'extérieur, qui contrôle soit en empêchant ou en admettant les effets du climat selon les besoins saisonniers afin d'offrir un confort satisfaisant pour les occupants.

# CHAPITRE IV :

## BÂTIMENTS ÉDUCATIFS

*« On façonne les plantes par la culture  
et les hommes par l'éducation »*

J-J. Rousseau

## Introduction :

En tant que bâtiments publics à usage spécialisé, les bâtiments éducatifs revêtent une importance clé depuis que les gouvernements ont reconnu à leur population le droit à l'éducation.

Le lien le plus élémentaire entre un bâtiment éducatif et son environnement est le besoin d'un confort minimal pour pouvoir se concentrer sur l'étude et accomplir ses tâches car *« l'étude n'est plus une accumulation des connaissances, mais plutôt, la capacité de construire la connaissance de manière significative pour un but particulier »*.

Le constat le plus évident pour la majorité des projets de bâtiments éducatifs existants est l'absence d'une programmation bien fondée concernant la conception de ce type de projets, l'absence des normes spécifiques visant les modèles d'organisation des salles de classe, la thermique, l'éclairage, la ventilation et l'acoustique, etc. D'un autre côté, on constate une programmation normative typifiée ne tenant compte des diversités climatiques et socioculturelles (Tebbouche, 2010). Tout cela a pour conséquent l'inconfort des étudiants, pour lesquels sont conçus et réalisés ces projets, et alors une influence négative sur la capacité et la performance d'apprendre.

La conception des salles de classe et des bâtiments éducatifs est alors relative à la qualité d'apprendre et au développement des individus. Dès lors une bonne conception de ces projets participe à l'amélioration des conditions du confort et, donc, de la qualité d'apprentissage.

Ce chapitre évoquera en premier lieu, après avoir introduit quelques définitions relatives au domaine de l'éducation et des bâtiments éducatifs, l'influence des paramètres de l'environnement de ce type de bâtiments sur la performance d'apprendre. Puis, une analyse synthétique d'une littérature des différentes recherches scientifiques ou études par quelques chercheurs, spécialement celles qui traitent le sujet du confort thermique, sur les salles de classe et les bâtiments éducatifs sera étalée. L'objectif est de comprendre au mieux l'influence des paramètres physiques des bâtiments éducatifs et spécialement le confort hygrothermique sur les étudiants en plus de construire une idée sur les méthodes son évaluation.

## IV.1 Quelques définitions :

### IV.1.1 Education :

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

Selon le dictionnaire LAROUSSE, du latin (*EDUCATIO*), l'« éducation » est l'action d'éduquer, de former, d'instruire quelqu'un ; manière de comprendre, de dispenser, de mettre en œuvre cette formation. Elle est définie par le sociologue français Emile Durkheim comme :

*« L'action exercée par les générations adultes sur celles qui ne sont pas encore mûres pour la vie sociale. Elle a pour objet de susciter et de développer chez l'enfant un certain nombre d'états physiques, intellectuels et moraux que réclament de lui et de la société politique dans son ensemble et le milieu spécial auquel il est particulièrement destiné »* (Durkheim, 1922).

L'éducation n'est pas seulement un bien précieux en soi, mais elle est aussi une composante du développement (Guttman, 2003), elle est *« une condition essentielle du développement durable ainsi que de la paix et de la stabilité à l'intérieur des pays et entre eux, et donc le moyen indispensable d'une participation effective à l'économie et à la vie des sociétés du 21<sup>ème</sup> siècle soumises à un processus de mondialisation rapide. »* (Fiske, 2000).

Ainsi, l'éducation ne se limite pas à une période et un espace définis, elle joue un rôle capital dans le développement de personnes à divers niveaux, mais c'est surtout au niveau de l'enrichissement des connaissances que l'éducation fait preuves d'une grande importance (Tebbouche, 2010).

### IV.1.2 Enseignement :

D'après l'encyclopédie HACHETTE, «Enseigner» est un acte fondamental qui relie les individus dans le temps et dans l'espace, il apparaît ainsi comme la condition même du tout progrès technique, économique et social.

L'enseignement est l'action de transmettre des connaissances nouvelles ou savoirs à des apprenants, c'est « *La mise à disposition de l'étudiant d'occasions où il puisse apprendre. C'est un processus interactif et une activité intellectuelle. Les buts... peuvent être des gains dans les connaissances, un approfondissement dans la compréhension, le développement des compétences en la résolution des problèmes ou encore des changements dans les perceptions, les attitudes, les valeurs et le comportement.* » (Brown, 1988 cité par Mboup, 2003). Il implique l'interaction de trois éléments principaux : l'enseignant ; l'élève ou étudiant ; et l'objet de connaissance.

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

### IV.1.3 Enseignement supérieur :

Selon la définition de l'UNESCO établie lors de la Conférence générale à sa 27<sup>ème</sup> session (novembre 1993), l'enseignement supérieur comprend tout type d'études, de formations ou de formations à la recherche assurées au niveau post-secondaire par un établissement universitaire ou d'autres établissements d'enseignement agréés comme établissements d'enseignement supérieur par les autorités compétentes de l'Etat (UNESCO, 1998).

L'enseignement supérieur traverse une période de changement sans précédent et il n'a cessé de gagner une importance considérable au niveau planétaire au fil du temps parallèlement à l'importance et à la rapidité des changements auxquels nous assistons et en vue que les sociétés sont de plus en plus fondées sur le savoir.

Il existe une demande croissante sur le domaine de l'enseignement supérieur, qui connaît une grande diversification, ainsi qu'une sensibilisation accrue à son rôle vital, en tant que producteur de connaissances, dans le développement social, socioculturel et économique et pour bâtir l'avenir. Il a amplement prouvé sa viabilité au cours des siècles et son aptitude à s'adapter, à évoluer et à engendrer le changement et le progrès dans la société (UNESCO, 1998). Ainsi, l'enseignement supérieur et la recherche se présentent comme instrument prépondérant qui peut apporter beaucoup à l'effort mondial au profit de l'éducation pour un développement durable.

#### **IV.1.4 Université :**

Étymologiquement, le terme « université », apparu en langue française en 1218, est du Latin juridique « Universitas » qui désignait autrefois l'une des corporations qui s'organisaient dans les villes, et elle se référait à la communauté spontanée de maîtres et d'élèves qui défendaient leurs intérêts (*universitas magistrorum et discipulorumque*) (Calvo-Sotelo, 2010 ; Melrin, 1988).

L'université est un établissement d'enseignement supérieur qui constitue une communauté d'enseignants, de chercheurs et d'étudiants, et qui offre des programmes diversifiés. On appelle également université, l'ensemble des enseignants (et chercheurs) d'un établissement universitaire, soit l'ensemble des sites et des bâtiments qu'ils occupent (Melrin, 1988). Elle est le lieu du savoir et de la recherche par excellence. Elle traduit la place du savoir dans une ville. C'est également une institution dotée d'une grande symbolique par l'architecture de ses équipements, par le type et le niveau des enseignements qu'elle dispense. Elle symbolise la modernité et elle conforte l'assise et le rayonnement de la ville dans sa région.

Hormis son rôle d'enseignement, de propagation du savoir, de la recherche et de la culture, ainsi que son importance dans les transformations économique et sociales, l'université a son caractère, sa forme et ses espaces architecturaux qui l'identifient par rapport à d'autres équipements qui constituent des éléments de formation urbaine, du moment où elle est lieu géométrique de la connaissance et de sa transmission (Bayen, 1973).

### **IV.1.5 Les bâtiments éducatifs :**

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

Le bâtiment éducatif est considéré comme un des éléments de système interdisciplinaire d'enseignement. La qualité d'un enseignement est étroitement liée à l'architecture au sein de laquelle celui-ci est dispensé. Lorsqu'on conçoit un nouveau bâtiment éducatif, on ne crée pas seulement des murs qui délimitent l'espace, on crée toute une ambiance. Les bâtiments éducatifs doivent être conçus en vue d'atteindre un apprentissage de qualité.

L'apprentissage tout au long de la vie fera des bâtiments scolaires un lieu de ressources pour toute la communauté. Cela exigera des planificateurs et des architectes afin que les mêmes installations soient adaptées à tous les âges de la vie (Beynon, 1998).

### **IV.1.6 La salle de classe :**

La salle de classe est l'espace dans lequel l'enseignement a lieu. Elle est l'unité de base pour la conception des blocs éducatifs, mérite une vraie réflexion et une bonne conception du fait qu'elle est l'espace où les étudiants séjournent le plus longtemps et l'élément porteur le plus important dans l'enseignement et le processus d'étude.

La conception des salles de classe est un thème rapportant directement au développement des individus, de ce fait la salle de classe ne doit pas se considérer en tant qu'espace rectangulaire muni de meubles scolaires mais plutôt comme interaction de différents facteurs d'une ambiance.

La forme la plus rationnelle pour une salle d'enseignement est le plan carré, ou toute autre forme qui s'en rapproche, sa taille dépend des dimensions horizontales du mobilier, des méthodes éducatives, de la discipline concernée, de nombre d'étudiants et de leurs possibilités à voir et entendre l'enseignant. Généralement, on constate un plan normalisé de la salle de classe où les tables sont organisées selon des colonnes.

L'environnement de la salle de classe a la capacité de favoriser ou défavoriser les activités des étudiants et des enseignants, il influe sur leur santé, leur confort et leur bien-être ; lorsqu'il est étudié et conçu attentivement, il remplit sa fonction et la performance d'étudier serait améliorée.

## **IV.2 L'influence de l'environnement physique des bâtiments éducatifs sur les capacités d'apprendre :**

Un environnement sain et confortable est essentiel pour tout type de bâtiments mais, en particulier, les bâtiments éducatifs, une catégorie des bâtiments dans laquelle un niveau élevé du confort doit être fourni pour assurer l'attention et la concentration des étudiants et améliorer la performance d'apprendre (Corgnati, 2007).

La capacité d'étude et le rendement des étudiants, telle que la capacité de se concentrer pendant les cours, dépendent non seulement de différentes caractéristiques, telles que la motivation, les conditions psychologiques, l'intelligence, etc. mais également de plusieurs autres facteurs externes qui affectent non seulement l'étudiant, mais l'environnement global du bâtiment éducatif et de la salle de classe (Abdelatia, 2010).

Ce qui est attendu des étudiants à la fin est de parvenir à un résultat d'excellence. Lorsque plusieurs étudiants ne parviennent pas à ce résultat, plusieurs raisons traditionnelles suscitent notamment les mauvaises attitudes des étudiants envers les enseignements et l'étude ; l'insuffisance des efforts des étudiants ; le manque d'intérêt au sujet ; l'influence des pairs ; l'influence du soutien de la famille, etc. (Udin, 2008). Cependant, plusieurs recherches indiquent que des résultats des étudiants sont affectés positivement ou négativement par les caractéristiques visuelles, acoustiques, et thermiques de l'environnement de salle de classe.

Le modèle de Cash propose que les conditions du bâtiment affectent la réussite et le comportement des étudiants directement et/ou indirectement. L'impact direct peut être relatif à l'éclairage, le contrôle du climat, la densité d'occupation, l'acoustique, la couleur, etc. Quant à l'impact indirect, il peut être en rapport avec l'attitude d'étudiant, les attitudes des enseignants et des parents, ou par la sensation d'étudiant envers l'état du bâtiment (Hines, 1996).

L'éducation est, donc, un processus complexe sur lequel influent des facteurs situés à l'extérieur comme à l'intérieur des murs de la salle de classe (Murimba, 1995 cité par Beynon, 1998) et l'environnement physique du bâtiment éducatif peut être considéré en tant que deuxième professeur (Sanoff, non daté).

### IV.2.1 Le confort visuel :

Puisque les activités visuelles comme la lecture et l'écriture sont très importantes lors de l'éducation, il est essentiel de créer des conditions visuelles confortables dans les bâtiments éducatifs. Le confort visuel est, donc, l'une des principales caractéristiques qui contribuent à la création d'un environnement éducatif approprié (Abdelatia, 2010).

Un bon éclairage est nécessaire pour une bonne visibilité de l'environnement. La pratique d'un bon éclairage n'est pas seulement limitée à la conformité avec les exigences de la norme, mais elle devrait aussi prendre en considération les caractéristiques d'utilisateurs telles que l'âge et le sexe ainsi que leurs préférences en matière d'éclairage (Wolska, 2003 cité par Udin, 2008). Un bon éclairage consiste, donc, en l'assurance des conditions suffisantes d'éclairement pour exercer les activités pédagogiques, tout en offrant un environnement lumineux confortable, stimulant et attrayant. L'utilisation de la lumière naturelle, avantageuse au niveau physiologique et psychologique, combinée à un éclairage artificiel performant, comme complément, est nécessaire pour assurer un confort visuel pour les usagers. D'autre part, l'utilisation de la lumière naturelle doit tenir en compte le problème des rayons solaires incidents qui affectent le déroulement normal des activités pédagogiques, perturbent la concentration de l'apprenant et peuvent de même créer des problèmes de santé.

La relation entre l'éclairage et la performance d'apprendre a été le sujet de plusieurs études. Chan (1980) a traité le rapport entre la réussite des étudiants et la présence de l'éclairage fluorescent dans les salles de classe. Il a révélé que ce type d'éclairage avait un effet minime sur le rendement des étudiants. De leur part, Luskiech et Moss (1940) ont déterminé que l'éclairage et sa qualité influencent les résultats des étudiants. Ils ont prouvé que l'éclairage fluorescent est mieux que l'éclairage incandescent en ce qui concerne la réduction de l'éblouissement et la production de lumière diffuse qui est lié à un plus grand rendement du travail (Hines, 1996).

Le groupe Heschong Mahone (1999) montre un lien entre la disponibilité d'éclairage naturel et la réussite scolaire. Les résultats de l'étude montrent que les élèves des salles de classe avec un éclairage naturel plus élevé ont progressé 20% plus rapidement dans le test de mathématiques et 26% plus rapidement dans le test de lecture, pendant l'année d'étude. De plus, les élèves dans les salles avec fenêtres ouvrantes ont obtenu un progrès

d'apprentissage de 7 à 18% plus rapide en comparaison à ceux qui étaient dans les salles avec des fenêtres fixes (Montenegro Iturra, 2011).

#### **IV.2.2 Le confort acoustique :**

Le confort acoustique dans les milieux éducatifs doit être pris en considération vu les problèmes auditifs et non-auditifs que présente un environnement d'une mauvaise qualité acoustique. Dans les espaces éducatifs, où les principales méthodes de communication sont la parole et l'écoute, les effets négatifs du bruit peuvent influencer les possibilités et les capacités de communiquer, d'entendre et de se concentrer sur les tâches éducatives à accomplir. Cohen et Weinstein (1981) ont étudié les effets non-auditifs du bruit sur le comportement et la santé. Ils ont trouvé qu'un bruit inhabituel affecte la durée d'attention chez les élèves réalisant des tâches complexes. Il influence, ainsi, l'efficacité des tâches et abaisse la performance (Hines, 1996). Walinder et al (2007) ont aussi conclu que l'exposition des étudiants aux niveaux élevés du bruit diminue de façon significative l'attention et l'adaptabilité sociale et augmente des comportements opposés en comparaison avec des étudiants qui n'ont pas été exposés à des niveaux élevés du bruit (Udin, 2008).

Dans les espaces d'enseignement, une bonne qualité acoustique doit être assurée pour chaque salle de classe ainsi que son isolation d'autres salles. Cette isolation contre le bruit s'est avérée très importante. Hawkins et Lilley (1992) ont inclus l'isolation acoustique des plafonds, des murs, et des planchers des salles de classe comme élément qui affectent l'enseignement dans leurs guides d'évaluation (Hines, 1996).

#### **IV.2.3 Le confort hygrothermique :**

Le confort hygrothermique est l'une des principales caractéristiques qui contribuent à la création d'un environnement propice à l'éducation.

Les conditions thermiques dans les salles de classe doivent être considérées soigneusement principalement en raison de la densité élevée d'occupation et des grandes surfaces vitrées utilisées pour un but fonctionnel (éclairage et aération), et en raison des influences négatives qu'un environnement thermique insuffisant a sur la performance d'apprendre (Wong, 2003 ; Boucheham, 2010 ; Firth, 2010).

En outre, face aux contraintes thermique dans leur environnement et contrairement aux occupants des habitations et des bureaux qui peuvent ajuster leur habillement et leurs

activités sensiblement, la liberté des étudiants pour en faire est, dans une certaine mesure, limitée (Wong, 2003).

La température ambiante dans une salle de classe a des effets sur la performance et le rendement des étudiants dans différentes tâches (lecture, calcul et mémorisation), ainsi que sur leurs comportements. Parson (2000) a confirmé qu'une température élevée a un effet psychologique qui pourrait être la réduction des capacités mentales, le rendement et la performance du travail. Nolan (1960) a constaté qu'une baisse de réussite est marquée avec des températures plus élevées. De sa part, Chan (1980) a révélé que les étudiants dans des écoles avec climatisation ont eu des résultats plus élevés que ceux dans des écoles sans climatisation (Udin, 2008). Langdon et Loudon (1970) ont confirmé l'impact de l'orientation sur la surchauffe produite dans les salles de classe lors d'une enquête menée dans 77 écoles en Angleterre, auprès de 914 enseignants qui ont confirmés que l'orientation est le facteur principale qui cause la surchauffe (Boucheham, 2010).

De plus, l'humidité relative est considérée comme facteur important, elle est signalée comme étant le plus important déterminant de la croissance des acariens et de la poussière (Korsgaard, 1982 cité par Udin, 2008). King et le Marans (1979) ont conclu qu'avec une température et une humidité accrues, la performance d'accomplissement des tâches diminuait, ainsi que la durée d'attention. Des conditions pareilles défavorisent la concentration et augmentent aussi la possibilité du stress thermique. Ce dernier est défini, par Aynsley (1996), comme « *la combinaison de la température de l'air, le rayonnement, le taux d'humidité de l'air, le mouvement de l'air, l'habillement et de comportement qui induit une incapacité physiologique de l'organisme pour maintenir sa température dans des limites qui permettent la performance physiologique normale* » (Prescott, 2001). Ce stress thermique peut avoir des impacts négatifs sur les capacités d'apprendre des étudiants. Harner (1974) a conclu que la meilleure plage de températures pour la lecture et les mathématiques était de 20-23 °C et que l'habilité pour étudier ces sujets est réduite par des températures au-dessus de 23 °C. D'une autre part Walden (2009) a indiqué sur la base d'autres recherches que le maintien d'une température stable sans changements est tout aussi défavorable pour l'organisme humain et provoque de la fatigue (Montenegro Iturra, 2011). En outre, des recherches ont montré que le confort thermique se présente comme un facteur prédominant dans la réduction de l'absentéisme.

#### **IV.2.4 Ventilation et qualité de l'air intérieur :**

La qualité de l'air intérieur a des impacts sur la santé, le confort, la performance et le rendement des occupants dans les bâtiments éducatifs. Une mauvaise qualité de l'air intérieur peut causer des maladies nécessitant l'absence des étudiants, ainsi que des symptômes aigus sur la santé, ce qui diminue le rendement.

En outre, des données récentes suggèrent que la mauvaise qualité de l'air peut réduire directement la capacité d'une personne à accomplir des tâches mentales spécifiques nécessitant la concentration, le calcul ou la mémorisation (Mendel, 2003).

En milieu scolaire, Ajiboye et al (2006) identifient certains facteurs qui influencent la qualité de l'air intérieur. Ces facteurs comprennent les polluants intérieurement générés, tels que les bio-effluents humains, les émissions organiques des matériaux de construction et des meubles, etc. Ils peuvent être également des polluants externes, tels que les produits de combustion provenant de la circulation. La ventilation est, donc, nécessaire pour retirer les polluants de l'air intérieur ou diluer leur concentration à des niveaux acceptables.

#### **IV.2.5 La couleur des espaces éducatifs :**

Les couleurs dans un bâtiment éducatif portent une influence sur les étudiants, elles peuvent affecter la capacité d'attention, la fatigue visuelle, la reconnaissance, l'organisation de l'information, la productivité, le rendement et la précision du travail, ainsi que le comportement des étudiants, soit en les favorisant ou en les défavorisant (Hughes, 2005).

Rice (1953) a constaté que l'utilisation des couleurs tendres à l'intérieur des bâtiments augmente le rendement des étudiants. Flannery (2005) et Grangaard (1993) ont noté que le bleu et le rose sont connus comme des couleurs qui calment les comportements tandis que les couleurs de terre ont tendance à augmenter le rythme cardiaque et l'activité cérébrale. De sa part, Kennedy (2005) a décrit que les élèves plus jeunes sont stimulés par des couleurs contrastées et vives comme le rouge, l'orange et le jaune, tandis que les étudiants adolescents peuvent mieux répondre à des couleurs comme le bleu ou le vert qui sont moins gênantes ou stressantes. Il a recommandé aussi pour le choix des couleurs d'un établissement éducatif de se baser sur le côté fonctionnel plutôt que sur le côté esthétique ; d'éviter des environnements monotones qui peuvent provoquer l'inquiétude, la nervosité et l'incapacité de se concentrer, et peuvent influencer par conséquent sur la réussite des

étudiants ; d'éviter une stimulation excessive ou une sous-stimulation et de créer des effets émotionnels et physiologiques positifs (Udin, 2008).

Rice (1953) a de plus confirmé que l'état de la peinture a également fait une différence dans le rendement des étudiants (Hines, 1996).

**L'âge du bâtiment** de sa part est un paramètre qui influence la performance d'études. McGuffey et Brown (1978) ont étudié l'influence de l'âge du bâtiment sur les étudiants, ils ont constaté que l'âge du bâtiment, avec les autres paramètres tels que l'éclairage, l'acoustique, la température et la couleur ont entraîné une réduction de la réussite scolaire à mesure que l'âge de construction augmentait.

**La densité d'occupation**, qui se traduit par le rapport de surface par étudiant, est aussi selon Abramson (1993), un facteur important dans la réussite scolaire.

En outre, l'**esthétique** du bâtiment éducatif peut affecter le rendement et le comportement des étudiants (Hines, 1996).

### **IV.3 Aspects pédagogiques et typologies des salles de classe :**

L'apparition de la salle de classe s'inscrit dans le grand élan de la construction des collèges au XVI<sup>e</sup> siècle. La nécessité fonctionnelle d'enseigner des grands effectifs d'apprenants et l'incapacité de leur fournir une instruction individuelle ont donné naissance à la salle de classe ; un espace de forme rectangulaire muni de fenêtres donnant sur le levant pour faciliter de noter les informations et équipé généralement des pupitres de deux places disposés en colonnes. Cette disposition de la salle de classe de XVI<sup>e</sup> siècle, qui induit une pédagogie frontale, n'a évolué depuis et elle est devenue le modèle le plus répandu dans la conception des bâtiments éducatifs jusqu'à nos jours (Bugnard, 2004). Un plan normalisé des salles de classe a été répandu où des tables ont été arrangées selon des colonnes pour maintenir l'ordre et pour contrôler le comportement des étudiants. Le silence a été encouragé dans la salle de classe par les enseignants afin de maintenir les étudiants plus focalisés. Le déplacement des étudiants est interdit afin d'éviter le comportement disruptif. Les éducateurs ont alors considéré les étudiants comme produits et les écoles comme des machines (Sanoff, non daté).

La typologie de la salle de classe est généralement liée aux modèles pédagogiques. Getzels (1974) a proposé une classification des salles de classe en quatre (04) catégories,

selon les modèles pédagogiques qui lui sont associés, à savoir : les salles rectangulaires, carrées, circulaires et d'aire ouverte.

La salle rectangulaire, le modèle le plus répandu, reçoit des évaluations négatives, elle est associée avec l'idée de « Empty Learner », c'est-à-dire, avec un modèle pédagogique qui considère l'éducation comme activité passive favorisant le rôle de l'enseignant et de la discipline (Montenegro Iturra, 2011). Sanoff et *al* rejoint cet avis, ils considèrent que cet arrangement en des rangées dirigées par un professeur assume une salle de classe professeur-centré où toute l'information vient du professeur et l'apprentissage dépend de sa direction.

Quant aux salles carrées et circulaires, associées aux concepts « Active Learner » et « Social Learner » respectivement, elles reçoivent des évaluations positives. Le dernier type de la salle nommée « aire ouverte » est décrit comme « Stimulus - Seeking » (Montenegro Iturra, 2011).

Dans ce même contexte, Getzels (1974) indique que l'origine de la forme rectangulaire est relative à trois (03) facteurs principaux : le modèle pédagogique qui implique la discipline et l'obtention de l'attention des élèves par l'enseignant, la forme rectangulaire répandue des bâtiments pendant le XIX<sup>e</sup> siècle, les conditions physiques nécessaires pour l'éclairage naturel et la ventilation et la nécessité de regrouper un nombre important d'apprenants dans un même espace limité. À ces facteurs, une forme en longueur serait la plus adaptée. Plus récemment Gairín (1989) indique que les proportions les plus adéquates pour les salles de classe rectangulaires seraient 2/3 et 3/5 (largeur/profondeur), lesquelles permettraient plus de flexibilité pour l'organisation de l'espace.

Le changement et l'évolution des modèles pédagogiques induisent l'apparition d'autres structures des salles de classe. Nair et Fielding (2005) décrivent l'évolution des types d'arrangements de salles de classe en associant l'organisation linéaire avec le modèle de production de Ford. Selon les auteurs, ce modèle a évolué vers une organisation moins rigide qui donne lieu à l'interaction et l'activité sociale. De plus, ils proposent un nouveau modèle de salle de classe appelé « Learning Studio », caractérisé par une forme type « L ». D'auteurs tels que Lippman (2007) ont appelé ce type de salle de classe « Fat L » qui est considérée, contrairement à la salle de classe traditionnelle, comme un centre d'apprentissage qui supporte différents paramètres d'activités. Elle facilite « *la bonne séparation, ..., elle a une longue mesure diagonale, ..., un coin intérieur qui sert de*

*barrière visuelle, ..., une bonne visibilité et la facilité du mouvement de l'enseignant... »* (Dyck, 1994).

Halstead (1992) a proposé que la salle de classe de demain soit comme des studios où les étudiants auront leurs propres zones de travail. En outre, il y aurait des zones du travail pour l'étude en groupes de différentes tailles, des espaces privés calmes pour des sessions alternatives, et des endroits où les étudiants peuvent travailler indépendamment (Sanoff, non daté).

#### **IV.4 Typologies et modèles d'organisation des bâtiments éducatifs :**

Montenegro Iturra (2011) a cité quelques études portant sur les différentes classifications des typologies et des modèles d'organisation des bâtiments éducatifs.

Dans le cadre d'une étude dont le but est de développer une méthode d'évaluation du confort environnemental dans les phases préliminaires de conception, Da Graça et *al* (2007) ont analysé les plans de 39 bâtiments scolaires de l'État de São Paulo au Brésil et ont identifié les sept (07) typologies :

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

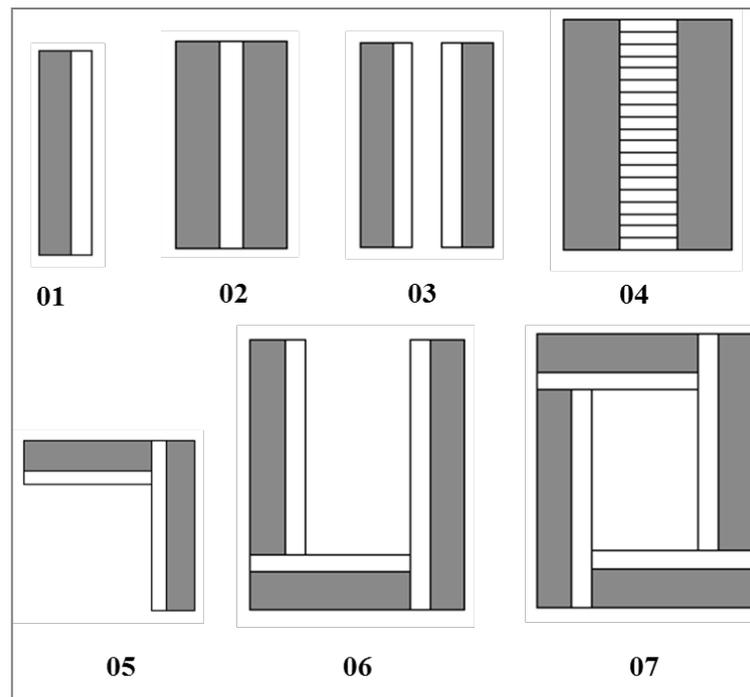


Fig IV.1 : Typologies des bâtiments éducatifs selon l'étude de Da Graça et al (2007)  
 (Source : Montenegro Iturra, 2011 réadapté par Auteur)

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

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

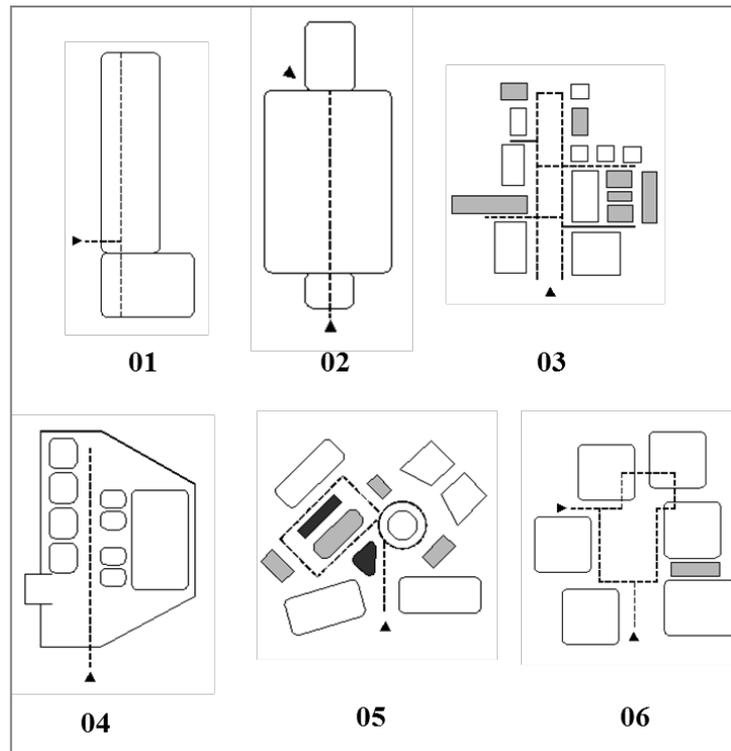


Fig IV.2 : Typologies des bâtiments éducatifs selon l'étude de SBDU (2002)  
 (Source : Montenegro Iturra, 2011 réadapté par Auteur)

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

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

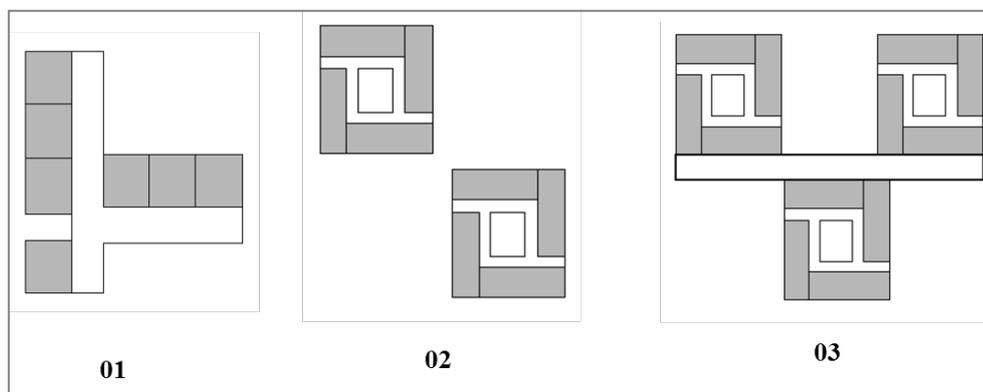


Fig IV.3 : Typologies des bâtiments éducatifs selon l'étude de Dudek (2007)  
 (Source : Montenegro Iturra, 2011 réadapté par Auteur)

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

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

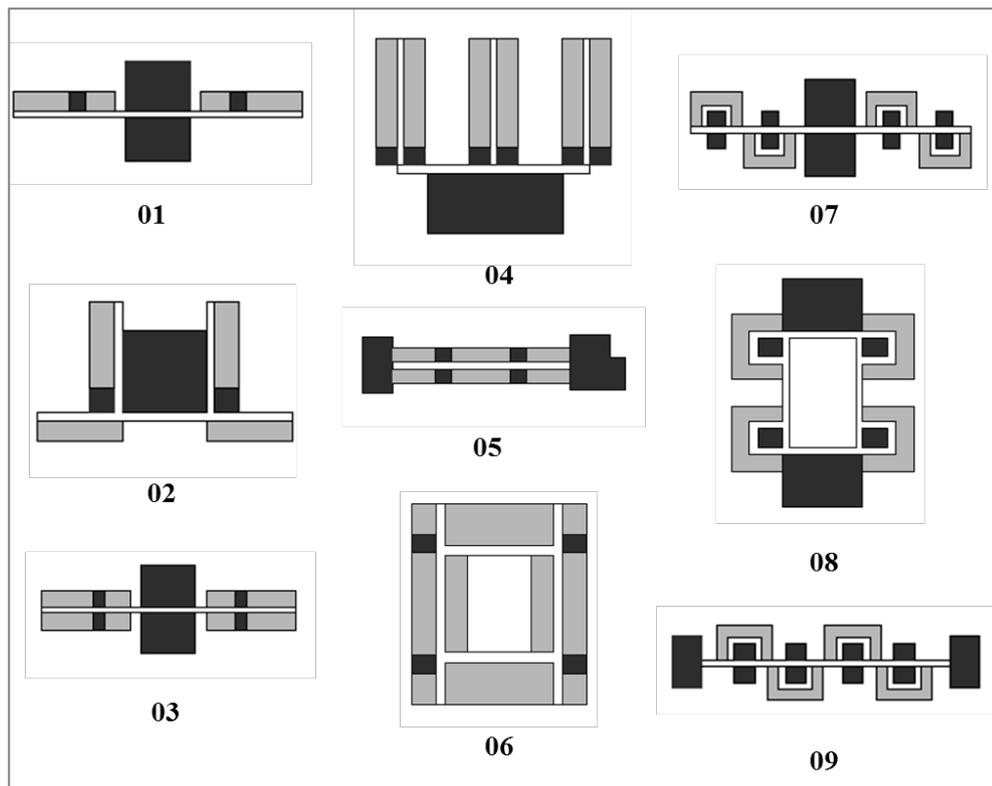


Fig IV.4 : Typologies des bâtiments éducatifs selon l'étude de Kliment (2001)  
(Source : Montenegro Iturra, 2011 réadapté par Auteur)

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

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

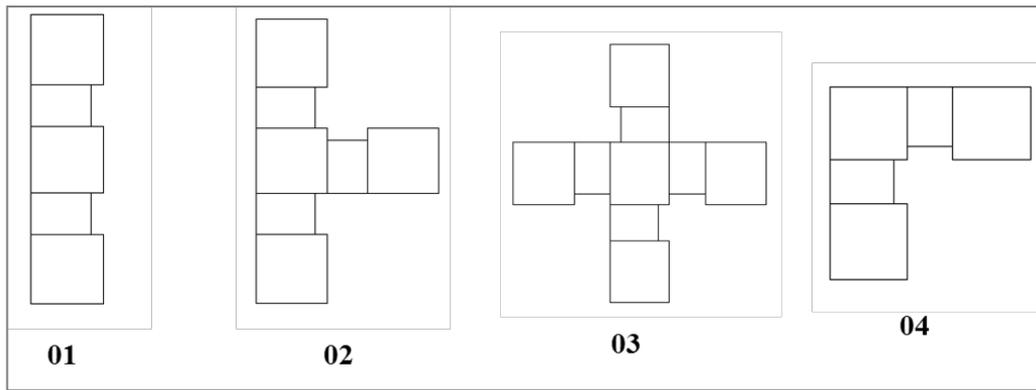


Fig IV.5 : Typologies des bâtiments éducatifs classifiées selon l'étude de Dimoudi et Kostarela (2009)  
 (Source : Montenegro Iturra, 2011 réadapté par Auteur)

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

Types	Types secondaires		
 <p data-bbox="320 1317 464 1350"><b>Type cour</b></p>	 <p data-bbox="643 1317 807 1350">Cour fermée</p>	 <p data-bbox="930 1350 1094 1384">Cour ouverte</p>	 <p data-bbox="1214 1305 1409 1384">Cour à espaces multiples</p>
<p>- La principale caractéristique de ce type est la zone extérieure protégée, facile à surveiller et psychologiquement rassurante ;</p> <p>- Trois types secondaires ont été identifiés : cour simple fermée, cour simple ouverte et cour à espace multiples ;</p> <p>- Le choix d'ouverture ou de fermeture des espaces extérieurs dépend en premier lieu de l'emplacement du bâtiment : des espaces protégés sont préférés dans le milieu urbain, et des espaces ouverts en « L » ou en « U » dans le milieu rural et suburbain ;</p> <p>- L'organisation des espaces intérieurs suit le schéma d'un couloir permettant d'accéder aux salles de classe.</p>			

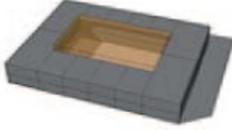
 <p><b>Type bloc</b></p>	 <p>Atrium collectif</p>	 <p>Galerie pédagogique collective</p>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Il est caractérisé par des volumes compacts, implantations intérieure simple et un grand espace unique menant directement aux espaces principaux d'apprentissage ;</li> <li>-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

Tableau IV.1 : Types de modèles conceptuels de bâtiments scolaires selon l'étude de Rigolon (2010)  
(Source : Rigolon, 2010 réadapté par Auteur)

## IV.5 Etudes de la performance énergétique dans les salles de classes :

Pérez et Capeluto (2009), sur la base d'une salle typique de 50 m<sup>2</sup> en climat chaud et humide et à l'aide de la simulation, ont évalué l'impact de plusieurs paramètres : isolation thermique des murs et toiture, ventilation nocturne, infiltration, masse thermique, couleur des murs et du toit, pourcentage d'exposition des murs et du toit à la radiation solaire, surface des fenêtres, leur vitrage et ombrage, et le contrôle de la lumière artificielle sur l'efficacité énergétique. En évaluant l'impact de chaque paramètre indépendamment, les chercheurs ont ordonné les stratégies les plus déterminantes dans l'efficacité énergétique de la salle de classe (selon le pourcentage de réduction de la consommation énergétique) comme suit : le contrôle de l'éclairage artificiel, le contrôle de l'infiltration d'air, le type de vitrage, la ventilation nocturne, l'orientation et les dimensions des fenêtres. Cependant, lors d'une autre évaluation interdépendante, c'est-à-dire en considérant l'effet de l'ordre de l'application de chaque stratégie, ils ont conclu que les paramètres les plus importantes sont le contrôle ou l'optimisation de l'éclairage artificiel, l'occultation solaire, l'infiltration d'air, la ventilation nocturne, et la réduction du pourcentage de surface vitrée.

Dans la même ligne, Dimoudi et Kostarela (2009) ont analysé l'efficacité énergétique des bâtiments scolaires existants type « ATHINA » dans le contexte du climat tempéré, un modèle de bâtiments scolaires a été développé par le gouvernement Grec dès 1978. Les chercheurs ont conclu que les stratégies les plus efficaces énergétiquement sont l'isolation thermique (13.34% de réduction de la consommation d'énergie), le contrôle de l'infiltration d'air (5.97%), le type du vitrage (1.38%) et l'élimination des brise-soleils (1.63%) en hiver, l'effet de ces mesures combinées atteint 28.75% ; et la ventilation nocturne combinée avec l'isolation (99.34% de réduction), la ventilation nocturne (99.25%), et les ventilateurs de plafond (65.44%).

L'étude de Montenegro Iturra (2011) dans le cadre d'une thèse de doctorat a porté sur l'évaluation de l'effet des variations typologiques des bâtiments scolaires sur leur performance lumineuse, thermique et énergétique dans deux contextes climatiques : froid et tempéré. Elle a exploré l'interaction « thermique - lumière naturelle - énergétique ».

L'étude a visé ainsi atteindre des objectifs spécifiques qui sont :

a) Relation typologie / climat :

- Évaluer la validité de l'idée de la compacité de la forme comme la stratégie principale d'efficacité énergétique, dans les deux contextes climatiques étudiés ;
- Confirmer la performance plus élevée des typologies allongées dans le climat tempéré ainsi que le potentiel passif de ces typologies dans le contexte froid ;
- Vérifier la performance lumineuse et de ventilation naturelle plus élevée des typologies allongées.

b) Impact de l'enveloppe :

- Confirmer l'effet positif de l'amélioration de l'enveloppe sur la performance environnementale et énergétique des typologies.

c) Impact du pourcentage de fenêtres :

- Analyser l'équilibre « lumière - thermique – énergie » en étudiant l'impact de différents pourcentages d'ouvertures sur la performance des typologies.

d) Mode de contrôle de l'environnement :

- Déterminer et comparer les limites du modèle sélectif pour chacune des typologies, dans deux contextes climatiques ;
- Confirmer l'idée selon laquelle le modèle sélectif serait plus approprié pour les écoles.

La stratégie méthodologique est basée sur la modélisation des différentes configurations de salles de classe et de bâtiments éducatifs, en évaluant leur performance énergétique et environnementale en se basant sur la simulation. Les typologies des salles de classe et des blocs, modélisées sur la base d'une salle de classe typique de 54 m<sup>2</sup>, sont les suivantes : modèle linéaire, modèle corridor central et modèle concentré avec des salles de classe de proportions (largeur/profondeur) 1/1, 2/3 et 3/2.

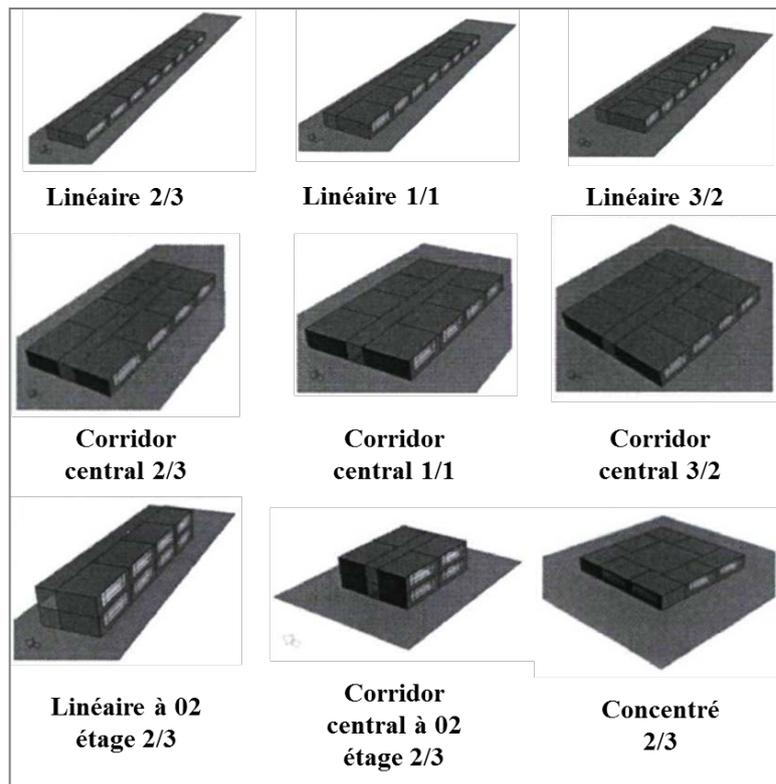


Fig IV.6 : Typologies analysées dans l'étude de Montenegro Iturra (2011)  
(Source : Montenegro Iturra, 2011 réadapté par Auteur)

A partir des résultats des simulations, les conclusions avancées sont les suivantes :

a) Relation typologie / climat :

- Les résultats confirment que la compacité de la forme ne serait pas la stratégie optimale pour la conservation de l'énergie.
- Dans les deux contextes climatiques, les typologies allongées montrent une consommation énergétique similaire ou encore moins élevée que celle des typologies concentrées. Ces résultats sont influencés fortement par la proportion de la salle et la consommation énergétique associée à l'éclairage. Les typologies linéaires, et plus spécifiquement celles ayant une proportion de salles 2/3, atteignent une performance lumineuse jusqu'à 78% (climat froid) et 97% (climat tempéré) plus importante que les typologies ayant une proportion de salles 3/2. Les résultats confirment aussi le potentiel de ventilation naturelle plus élevé des typologies linéaires. Elles sont ainsi 21% (climat froid) à 26% (climat tempéré) plus performantes que les typologies à corridor central. En ce qui concerne la performance globale, les typologies démontrant un meilleur équilibre entre la performance environnementale et la consommation énergétique sont encore les typologies linéaires 2/3 et linéaires 2/3 à 02 étages.

b) Impact de l'enveloppe :

- L'amélioration de l'enveloppe montre un effet important sur la performance énergétique (jusqu'à 59% d'économie d'énergie dans le climat froid et 37% dans le contexte tempéré). Mais, en même temps, les résultats reflètent une réduction du confort, spécialement thermique en période de refroidissement. Donc, il faut considérer des stratégies complémentaires de ventilation et contrôle solaire afin d'éviter la surchauffe et l'inconfort.

c) Impact du pourcentage de fenêtres :

- Les résultats démontrent que le pourcentage vitré du mur extérieur affecte significativement la performance lumineuse. L'augmentation de la surface vitrée de 40 à 60% du mur, entraîne une amélioration moyenne de 12 et 15% dans le climat froid et tempéré respectivement.

- La proportion de la salle de classe a aussi un effet très important sur la performance lumineuse. Les résultats permettent d'indiquer que les normes basées sur l'exigence d'un pourcentage de fenêtres par rapport au plancher devraient être reformulées, car avec un même pourcentage d'ouvertures, les résultats varient fortement selon la proportion de la salle.

d) Mode de contrôle de l'environnement :

- Les typologies sélectives présentent un meilleur équilibre entre leur performance environnementale et leur consommation énergétique. De plus, la notion de conception la mieux adaptée à l'idée qu'un bâtiment scolaire durable doit promouvoir l'éducation pour le développement durable est celle du modèle sélectif, car elle favorise l'interaction des utilisateurs avec leur environnement et fait la promotion de comportements responsables à long terme.

Donc, Les résultats obtenus ont confirmé l'impact direct de la forme du bâtiment, la composition de son enveloppe et son mode de contrôle de l'environnement sur la performance énergétique et environnementale. Ainsi, ils confirment l'idée posée par Hawkes (1996) mettant en doute la compacité de la forme comme la solution optimale pour la conservation de l'énergie.

## IV.6 Etudes du confort thermique dans les salles de classes :

Le tableau suivant résume quelques études concernant l'évaluation du confort thermique dans les salles de classe :

<b>Etude n° 01 : Confort thermique des salles de classe dans les tropiques (2002)</b>	
<b>Auteur</b>	Wong. N.H, Khoo. S.S
<b>Cas d'étude</b>	L'étude a été menée dans les salles de classe d'une école secondaire à Singapour. Ces salles sont ventilées mécaniquement par des ventilateurs.
<b>Objectifs</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evaluer les conditions thermiques dans les salles de classe via les mesures objectives et les comparer avec celles prescrites par la norme ASHRAE 55-92 ;</li> <li>- Etudier la perception, l'acceptabilité et la préférence thermiques dans les salles de classe en utilisant l'échelle de l'ASHRAE, l'échelle Bedford, les votes de préférence et les votes d'acceptabilité.</li> <li>- Déterminer la température de neutralité, la température préférée et les plages de température acceptable dans les salles de classe.</li> </ul>
<b>Méthodologie</b>	Etude basée sur les deux méthodes objectives et subjectives. Les paramètres physiques (température de l'air, température radiante, humidité relative et vitesse de l'air) ont été mesurés et les deux paramètres personnels (taux métabolique et isolation vestimentaire) ont été évalués en accord avec la Norme ASHRAE 55-92. L'évaluation subjective a été basée sur le questionnaire qui a été administré simultanément avec les mesures objectives pendant les heures des cours.
<b>Résultats</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les occupants ont trouvé acceptables des plages de température au-delà de la zone de confort, ce qui implique que la norme ASHRAE 55-92 n'est pas applicable dans les bâtiments ventilés naturellement dans le climat local ;</li> <li>- Le modèle PMV de Fanger a surestimé les sensations thermiques réelles, avec un écart étant plus élevé à des températures basses ;</li> <li>- Les personnes votant dans les catégories extrêmes de l'échelle de l'ASHRAE ne sont pas nécessairement dans l'inconfort. Cette étude montre également que l'inconfort varie de façon asymétrique autour de</li> </ul>

	<p>l'échelle de l'ASHRAE ;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Près de la moitié des répondants trouvant gênante la chaleur rayonnante par les fenêtres et particulièrement ceux qui sont assis près des fenêtres sans corridor. Ainsi, il est recommandé que les dispositifs de protection solaire soient installés pour réduire la chaleur rayonnante. En outre, la disposition du bloc de salles de classe doit être de telle façon que les longues façades donnent sur le Nord et le Sud. Cette orientation permettra également d'augmenter le potentiel d'utilisation de la ventilation naturelle pour le refroidissement car les vents dominants à Singapour sont du Nord et du Sud.</li> </ul>
<b>Etude n° 02 : Investigation sur le confort thermique dans les salles de classe en régions subtropicales (2007)</b>	
<b>Auteur</b>	Guoqiang. Z et al
<b>Cas d'étude</b>	L'étude a été réalisée à l'Université de Hunan en Chine dans des salles de classe ventilées naturellement avec des ventilateurs placés aux plafonds.
<b>Objectifs</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Générer un profil général de l'environnement thermique dans les salles de classe ventilées naturellement dans la Province de Hunan en Chine ;</li> <li>- Entreprendre une enquête sur la perception des occupants des niveaux du confort thermique dans les salles de classe ;</li> <li>- Découvrir les caractéristiques des conditions thermiques dans les salles de classe et les perceptions thermiques des étudiants en comparaison avec les études antérieures et les modèles de sensation thermique ;</li> <li>- Comparer les résultats obtenus avec les modèles de sensation thermique.</li> </ul>
<b>Méthodologie</b>	Dans cette enquête, les mesures physiques objectives et les évaluations subjectives ont été effectuées. Les six paramètres physiques affectant confort thermique ont été mesurés : température de l'air, humidité relative, vitesse de l'air, température moyenne radiante, taux métabolique et isolation vestimentaire. L'évaluation subjective a été basée sur les réponses à un questionnaire qui a été administré simultanément avec la prise des mesures physiques.

<p><b>Résultats</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dans l'ensemble, la grande majorité des étudiants ont trouvé leur environnement thermique acceptable ;</li> <li>- Les effets de l'humidité sur le confort thermique semblaient être très faibles et ne devenaient apparents qu'avec des températures élevées ;</li> <li>- Seulement 46.1% des répondants ont estimé la vitesse de l'air était juste. La vitesse de l'air intérieur paraît un grand problème dans les classes ventilées naturellement ;</li> <li>- L'état de neutralité thermique ne traduit pas toujours l'état thermique préféré ;</li> <li>- La relation entre la température opérative et le vote de sensation thermique (TSV) n'était pas forte. Cela indique que la sensation thermique des étudiants peut être grandement influencée par d'autres facteurs ;</li> <li>- La prévision du modèle PMV surestime la sensibilité des étudiants envers la température opérative.</li> </ul>
<p align="center"><b>Etude n° 03 : Perception de l'environnement thermique dans les salles de classe des écoles secondaires et des universités : préférences subjectives et confort thermique (2007)</b></p>	
<p><b>Auteur</b></p>	<p>Corgnati. S.T, Filippi. M, Viazzo. S</p>
<p><b>Cas d'étude</b></p>	<p>Un nombre de salles de classe à l'université de Politecnico di Torino et à l'école secondaire de la Provincia di Torino en Italie. Les salles de classe ont été sélectionnées pour servir comme échantillon représentatif de salles de classe des écoles secondaires typiques et des universités italiennes. Toutes les salles sont de taille moyenne et de forme parallélépipédique.</p>
<p><b>Objectifs</b></p>	<p>Etudier la qualité de l'environnement thermique dans les salles de classe et mettre l'accent sur son effet significatif sur la performance des élèves en termes de niveaux d'attention, de compréhension et d'apprentissage.</p>
<p><b>Méthodologie</b></p>	<p>Cette étude est faite à l'aide de deux approches : objective et subjective. La première se traduit par une campagne de mesure in situ des paramètres de l'environnement thermique (température du rayonnement, température de l'air, humidité relative et vitesse de l'air). Les données enregistrées</p>

	<p>sont utilisées afin de calculer les indices PMV et PPD.</p> <p>La deuxième est basée sur un questionnaire (perception, acceptabilité et la préférence thermiques sur l'échelle de sensation thermique de Fanger). A partir du questionnaire, le pourcentage réel d'insatisfaits par rapport à l'environnement thermique est évalué.</p> <p>Les mesures et l'enquête subjective ont été menées au cours de la période de chauffage et en même temps pendant les heures régulières du cours. Les résultats obtenus ont été comparés.</p>
<b>Résultats</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les environnements qui sont jugés « neutres » ou « chauds » sont acceptés ;</li> <li>- Les environnements qui sont jugés « peu chaud » sont préférables ;</li> <li>- Pour les environnements thermiques qui sont évalués « peu froid » par les mesures, les occupants ont prévalu un « plus chaud » ;</li> <li>- Pour les environnements thermiques qui sont évalués « peu chaud » par les mesures, les occupants ont prévalu un « sans changement ».</li> </ul>
<b>Etude n° 04 : Etude sur terrain du confort thermique à Malaisie (2009)</b>	
<b>Auteur</b>	Hussein. I, A. Rahman. M.H
<b>Cas d'étude</b>	Ecoles primaires et écoles secondaires au Sud de la Malaisie. Les bâtiments choisis sont ventilés mécaniquement.
<b>Objectifs</b>	Les principaux objectifs de cette étude sont d'explorer le climat intérieur dans les salles de classe ventilées mécaniquement et d'entretenir des enquêtes de perception et d'acceptabilité des occupants de leur environnement thermique dans une région tropicale.
<b>Méthodologie</b>	Méthode objective (par mesure des paramètres physiques) et méthode subjective (par questionnaire). Les paramètres mesurés sont : la température de l'air, l'humidité relative et la vitesse de l'air. Les évaluations subjectives par questionnaire ont été menées au cours de la période de prise de mesures et elles ont été fondé sur la sensation, la l'acceptabilité et la préférence thermiques, ainsi que sur les niveaux d'humidité et de la vitesse de l'air dans la zone occupée.

<p><b>Résultats</b></p>	<p>L'étude a montré que plus de 80% des répondants ont trouvé acceptables leurs conditions thermiques intérieures, même si les votes de sensation thermique ont dépassé les conditions thermiques fixées par l'ASHRAE. Les données mesurées de paramètres physiques ont également dépassé le seuil prévu par la norme pour une activité sédentaire pendant l'été. Cependant, la majorité des enquêtés ont trouvé les niveaux d'humidité relative et de la vitesse de l'air acceptables.</p> <p>Il a également été constaté que les personnes interrogées qui se sentaient neutre ne sont pas toujours satisfaits de leur état thermique et la plupart d'entre eux voulaient que leur environnement soit plus frais. D'autre part, les répondants qui ont été satisfaits de leur environnement thermique (qui préféraient «sans changement»), n'avaient pas tous une « sensation neutre ».</p> <p>En outre, l'étude a également montré que les personnes interrogées dans une zone tropique comme la Malaisie peuvent avoir une tolérance thermique plus élevée, car ils ont accepté un environnement thermique qui a dépassé la norme. Il est prouvé donc que les personnes interrogées sont capables de s'adapter à l'environnement dans lequel ils sont habitués.</p> <p>Ainsi, il est pratique pour les bâtiments à ventilation naturelle en Malaisie d'utiliser une ventilation mécanique au lieu de l'air conditionné pour améliorer l'état thermique intérieure avec l'intérêt de réduire la consommation d'énergie dans les bâtiments.</p>
<p align="center"><b>Etude n° 05 : Impact de l'orientation des parois transparentes sur le confort thermique dans les salles de classe (2010)</b></p>	
<p><b>Auteur</b></p>	<p>Bouchahm. G et Bourebia. F</p>
<p><b>Cas d'étude</b></p>	<p>L'exemple d'école choisie se situe dans la localité de Didouche Mourad, à une vingtaine de kilomètres de la ville de Constantine. Construite en 1980, l'école remplissait la fonction d'un collège d'enseignement moyen.</p>
<p><b>Objectifs</b></p>	<p>Evaluer l'impact de l'orientation des fenêtres sur le confort dans les salles de classe sous le climat semi-aride de Constantine.</p>

<b>Méthodologie</b>	L'investigation est basée sur l'expérimentation et la simulation. La première consiste à mesurer la température ambiante dans trois (03) salles de classe de différentes orientations. Elle s'est déroulée pendant 5 jours de 06h à 21h sur 02 périodes ; hiver et été, (du 15 au 19 Décembre et du 03 au 07 Juin). La deuxième s'est basée sur l'utilisation du logiciel TRNSYS.V 14.2. Son objectif est de valider les résultats de l'investigation et d'optimiser l'orientation des salles de classe.
<b>Résultats</b>	La température intérieure d'une salle de classe dont les ouvertures ne présentent aucune occultation est gouvernée par le rayonnement entrant par la surface vitrée ainsi que le rayonnement absorbé par toute la paroi. En été les classes et leurs occupants sont très sensibles à un risque de surchauffe très élevé (36.6°C) pour les classes orientées vers l'Ouest et l'Est et 35.9°C pour les classes orientées vers le Sud et le Nord. Ce résultat implique la nécessité et l'efficacité des protections solaires. Les orientations Nord et Sud sont intéressantes si le Sud est bien traité sur le plan des protections solaires.
<b>Etude n° 06 : Recherche expérimentale du confort thermique dans les salles de classe des universités à Corée (2011)</b>	
<b>Auteur</b>	Gun Joo Jung et al
<b>Cas d'étude</b>	Le bâtiment objet d'étude appartient à l'École d'architecture de l'Université de Pukyong situé dans la zone côtière du Sud-Est de la Corée.
<b>Objectifs</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mesure des paramètres physiques affectant le confort thermique intérieur et évaluation des réactions subjectives des étudiants ;</li> <li>- Dérivation d'une norme thermique durable par la corrélation de l'analyse de la température opérative, l'acceptabilité thermique et de la préférence pour le chauffage ou le refroidissement ;</li> <li>- Confort thermique adaptatif basé sur l'analyse relationnelle entre le PMV et les votes de sensation thermique des occupants ;</li> <li>- Corrélation entre la température opérative du confort thermique pendant le semestre régulier et la température extérieure moyenne mensuelle ;</li> <li>- Comparaison de la plage de température opérative acceptable selon une température extérieure moyenne mensuelle suggérée dans la norme</li> </ul>

	ASHRAE 55-2004 avec la température opérative acceptable pour les étudiants coréens.
<b>Méthodologie</b>	<p>Deux méthodes ont été choisies : méthode objectives (la mesure des paramètres physiques) et méthode subjective (questionnaire).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Les paramètres physiques de PMV (température de l'air, humidité relative, vitesse de l'air et température de globe noire) ont été mesurés chaque minute pendant le déroulement des cours. Les mesures ont été prises pour les deux semestres du printemps et d'automne. Le PMV est calculé sur la base d'un algorithme informatique donné par la Norme ISO 7730-2005.</li> <li>- Les thèmes principaux du questionnaire portent sur les votes de sensation, d'acceptabilité et de préférence thermiques. Les étudiants ont répondu cinq (05) minutes avant de terminer les cours.</li> </ul>
<b>Résultats</b>	<p>Les principaux résultats de cette étude sont les suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Le taux d'acceptabilité des étudiants pour leur environnement thermique montre plus de 80% pour des valeurs de température opératoire allant de 17°C à 25°C. Cela signifie que plus de 80% d'acceptabilité de l'environnement thermique peut être maintenu si le chauffage est démarré lorsque la température opérative atteint 17 °C, et le refroidissement est démarré lorsque la température opérative atteint 25 °C.</li> <li>- Les répondants sont prêts à accepter un environnement peu froid, mais psychologiquement ils veulent le chauffage si c'est possible. Il sera utile de vérifier les caractéristiques psychologiques à l'aide d'un questionnaire détaillé et de nombreuses bases de données.</li> <li>- Le taux d'acceptabilité de l'environnement thermique est légèrement différent de la norme ASHRAE. Les répondants acceptent l'environnement thermique dans des conditions un peu fraîches, cependant, ils ne l'acceptent pas dans des conditions un peu chaudes. Il est donc nécessaire d'établir un standard d'acceptabilité de l'environnement thermique dans les régions à climat tempéré océanique en utilisant plus de bases de données.</li> </ul>

<b>Etude n° 07 : Evaluation du confort thermique d'un bâtiment éducatif dans le climat chaud et humide à Accra, Ghana (2012)</b>	
<b>Auteur</b>	Appah-Dankyi. J, Koranteng. C
<b>Cas d'étude</b>	Le bâtiment éducatif « lycée de St. Andrews Junior High School » réalisé à Madina, Accra. Il a été choisi en raison des principes de construction durable (par exemple la forme, l'orientation et la ventilation) employés dans la conception et la construction de ce bâtiment.
<b>Objectifs</b>	Etudier la perception du confort chez les usagers et examiner les conditions thermiques dans les salles de classe. Ainsi, entreprendre une analyse comparative des résultats avec les recommandations de l'ASHRAE.
<b>Méthodologie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mesures physiques des paramètres environnementaux.</li> <li>- Evaluations subjectives, au moyen d'un questionnaire, fondées sur le vote des occupants sur la sensation, la préférence et l'acceptation thermiques ainsi que la vitesse de l'air et l'humidité dans la zone occupée.</li> </ul>
<b>Résultats</b>	<p>Toutes les valeurs des paramètres environnementaux (température de l'air et humidité relative) ont dépassé les recommandations fixées par l'ASHRAE. Cependant, la plupart des répondants ont trouvé ces conditions acceptables. Donc, les personnes interrogées ont montré une tolérance thermique plus élevée.</p> <p>En outre, les salles de classe situées au RDC ont connu des températures plus basses que celles situées au premier étage (une différence de 2°C).</p> <p>Pour conclusion, les bâtiments scolaires à venir devront faire appel à des principes de conception durables (forme, orientation, ombrage, grandes surfaces de fenêtres, hauteurs élevées des salles, etc.) en outre, l'installation des ventilateurs à faible consommation d'énergie dans les salles de classe est avantageuse afin de promouvoir la santé et faciliter l'apprentissage.</p>

Tableau IV.2 : Quelques études d'évaluation du confort thermique dans les salles de classe  
(Source : Auteur)

## **Conclusion :**

De même que le temps soit une variable importante dans l'enseignement et la formation, l'organisation de l'espace en est une autre qui influe sur les processus.

Tandis que l'environnement scolaire est prévu pour soutenir les différents besoins de l'étudiant, il est nécessaire d'acquérir des connaissances au sujet de leurs besoins divers et comment l'environnement physique les satisfait.

Si l'environnement physique est pensivement considéré, il fonctionnera bien et répondra, alors, mieux aux besoins des étudiants et des enseignants, et par conséquent il pourra augmenter et non pas empêcher l'étude et la performance éducative des étudiants.

Le confort hygrothermique est l'une des principales caractéristiques qui contribuent à la création d'un environnement propice à l'éducation. Les conditions thermiques dans les salles de classe doivent être considérées soigneusement puisque un environnement thermique insatisfaisant a des influences négatives sur la performance d'apprendre. Et par là, la salle de classe et le bâtiment n'arrivent pas à accomplir leur rôle principal qui est la favorisation des conditions adéquates pour que l'étude arrive à ses objectifs tracés.

# CHAPITRE V :

## ANALYSE DU CAS D'ÉTUDE

*« La science n'est pas pour moi une activité théorique menée derrière un ordinateur et coupée du réel, c'est une activité tirée du réel »*

Claude Allegre

## **Introduction :**

La présente recherche est focalisée sur l'évaluation de l'impact de la forme architecturale des bâtiments d'enseignement supérieur sur le confort hygrothermique des étudiants sous un contexte climatique chaud et sec caractérisé par un rayonnement solaire intense, des températures élevées et des valeurs faibles d'humidité pendant la saison chaude. Elle devrait, alors, choisir un cas d'étude répondant à cet intérêt. Le choix s'est opté, afin de répondre à ces conditions, pour le campus universitaire Mohamed Khider situé à Biskra. Ce choix est dicté, donc, pour des raisons de représentativité et de faisabilité de l'étude.

Parmi les différents bâtiments composant ce campus universitaire, les blocs d'enseignement composés de salles de classe réservées aux séances de travaux dirigés seront sélectionnés pour appliquer notre démarche analytique afin arriver à nos objectifs.

Au niveau du présent chapitre, nous allons étaler, d'abord, les conditions climatiques de la ville de Biskra, puis nous insisterons sur un descriptif des blocs d'enseignement sélectionnés.

## V.1 Les données climatologiques :

La ville de Biskra se situe dans le périmètre des zones arides. Elle se caractérise par un climat continental sec durant toute l'année, chaud en été et froid en hiver.

### V.1.1 Température :

Elle se caractérise par une période chaude (s'étalant du mois d'Avril jusqu'au mois de septembre) plus longue que la période froide (s'étalant du mois de décembre au mois de février). Elle se spécifie aussi par un régime thermique contrasté et un écart annuel important de température. Les températures peuvent atteindre des valeurs minimales jusqu'à 3°C en hiver et des valeurs maximales jusqu'à 45°C en Juillet avec une forte insolation, dépassant les 3500 h/an, et un intense rayonnement solaire direct pouvant atteindre 900 à 1100 W/m<sup>2</sup> sur un plan horizontal.

	Conditions climatiques							
	T (°C)	TM (°C)	Tm (°C)	H (%)	PP (mm)	V (Km/h)	VM (Km/h)	PP (mpa)
Janvier	12	16.5	8.1	66.3	38.1	16.4	34.8	1015.6
Février	12.1	18	6.2	50.9	7.12	16.4	32.4	1016.9
Mars	16.2	22.6	9.8	45.9	13.21	15.1	31.7	1016
Avril	18.7	24.7	12.6	41.9	8.89	20.3	37.3	1014
Mai	26.3	32.9	19.1	30.7	15.24	14.5	30.1	1015.7
Juin	32.1	38.4	24.7	24.7	0	13.5	28.7	1012.7
Juillet	36	42.7	28.2	24	3.56	10.7	29	1013.2
Aout	34.8	40.9	28.3	26	0	12.3	28.8	1010.6
Septembre	27.1	32.7	21.4	50.5	32	12.2	27.1	1012.1
Octobre	23	29	17.1	44.9	0	7.7	22.8	1014
Novembre	16.9	23.8	11.1	45.9	0.25	12.3	25.6	1017.7
Décembre	13.2	19.2	7.8	60.2	15.24	10.3	30.3	1013.7
Moyenne annuelle	22.4	28.5	16.2	42.7	11.1	13.5	29.9	1014.4

Tableau V.1 : tableau récapitulatif des données climatiques de la ville de Biskra de l'année 2009  
(Source : Station météorologique de Biskra)

Dont :

T : Température moyenne (°C)

TM : Température moyenne maximale (°C)

Tm : Température moyenne minimale (°C)

H : Humidité moyenne (%)

PP : Précipitations totales (mm)

V : Vitesse moyenne du vent (Km/h)

VM : Vitesse maximale du vent (Km/h)

P : Pression de l'air (mpa)

### **V.1.2 Humidité :**

L'humidité relative reste faible et plus spécialement pour la période chaude pendant laquelle la région connaît des niveaux importants d'évaporation qui peuvent atteindre comme moyenne annuelle la valeur de 2600 mm.

La moyenne annuelle d'humidité relative atteint une valeur de 41.9% (2009) avec une valeur minimale de 24% pendant le mois de Juillet et une valeur maximale de 66.3% pendant le mois de Janvier.

### **V.1.3 Vents dominants :**

Les vents dominants sont ceux chauds du Sud-Est avec une vitesse de 80 km/h et ceux hivernaux froids du Nord-Ouest avec une vitesse de 35 km/h.

En plus des vents dominants, on assiste pendant les demi-saisons aux vents de sables violents qui peuvent atteindre 100 km/h.

### **V.1.4 Précipitations :**

Le climat de la ville est caractérisé par la rareté et l'irrégularité des précipitations. La pluviométrie varie de 120 à 150 mm/an comme valeur annuelle.

## V.2 Le campus universitaire Mohamed Khider de Biskra :

### V.2.1 Situation et délimitation du campus :

Situé au Sud-Est de la ville de Biskra, il est délimité par El Alia Est au Nord ; le complexe sportif 18 Février au Sud-Est et Hai El Houda à l'Ouest. Il est accessible principalement à partir de la route nationale RN 83 ainsi qu'à partir de la route nationale RN 31 et la rue Zouaoui Chaguar.



Fig V.1 : Situation de campus universitaire Mohamed Khider de Biskra  
(Source : Auteur)

### V.2.2 Etapes d'évolution du campus :

Depuis son ouverture en 1984, le centre universitaire a connu plusieurs phases d'extensions. Trois grandes phases sont à présenter :

- **Le premier noyau (1984) :**

- Il a été conçu par l'agence d'architecture libanaise Arab-Consult ;
- Il était composé de bâtiments organisés de part et d'autre d'un axe central Nord-Sud ;
- L'ensemble est constitué de deux parties principales aux fonctions différentes à savoir les bâtiments d'enseignements et la résidence universitaire ;
- Les blocs de salles de classe en barre sont disposés perpendiculairement à l'axe central.

- **La deuxième phase (1998 – 2000) :**

Pendant laquelle on a construit de nouveaux bâtiments pour la promotion du centre universitaire en université. Quatre bâtiments ont été construits et reçus en l'an 2000 : le bloc Magherbi, le bloc Bettaïbi, la bibliothèque centrale et l'auditorium. Ces nouveaux bâtiments se localisent dans la périphérie de la parcelle initiale.

- **La troisième phase (2000 – 2010) :**

A partir de l'an 2000, l'université Mohamed Khider de Biskra a reçu un programme de plusieurs bâtiments dans le cadre d'un POS spécifique. Ce programme concerne : le nouveau rectorat, la faculté des sciences et technologies, la faculté de droit, la faculté des lettres et des langues, la faculté des sciences économiques, commerciales et de gestion, le centre de santé sociale, le restaurant universitaire central, le centre de recherches scientifiques et techniques sur les régions arides (CRSTRA). Le nouveau département d'architecture a été aussi construit pendant cette période.

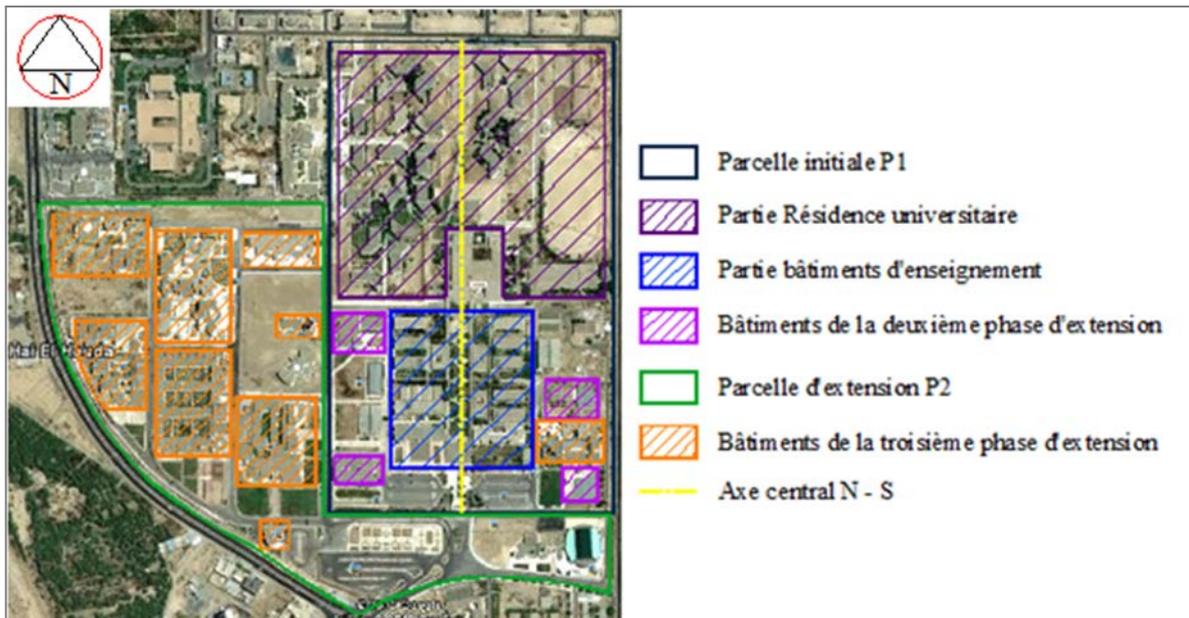


Fig V.2 : Phases d'extension de campus universitaire Mohamed Khider de Biskra  
(Source : Auteur)

### V.3 Présentation de l'échantillon d'étude :

L'échantillon de la présente étude est construit par une recherche à partir des documents graphiques, des relevés sur terrain, et de prises de photos. Il se compose de six (06) blocs d'enseignement. L'étude concerne les salles de classe réservées aux travaux dirigés (TD).

Les blocs d'enseignement concernés sont les suivant :

- Bloc I : salles de TD de la faculté des sciences et technologies ;
- Bloc II : salles de TD de la faculté des sciences économiques, commerciales et de gestion ;
- Bloc III : salles de TD de la faculté des lettres et des langues ;
- Bloc IV : salles de TD du bloc Magherbi ;
- Bloc V : salles de TD du nouveau département d'architecture ;
- Bloc VI : Bloc de l'ancien noyau.

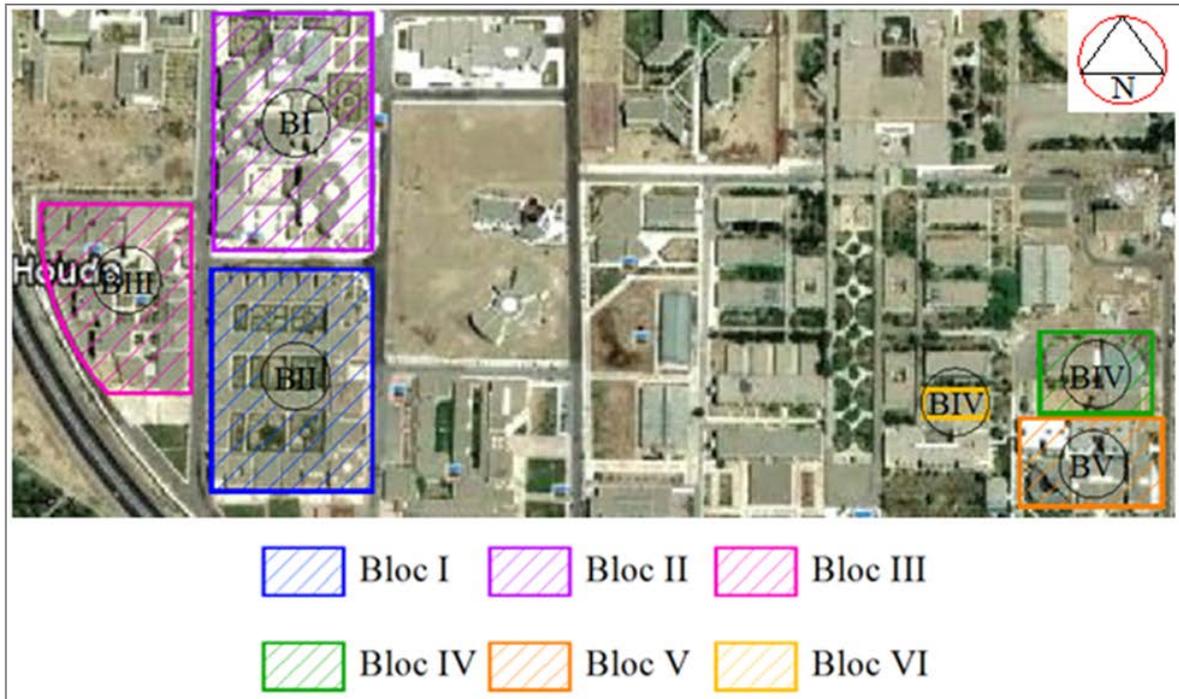


Fig V.3 : Différents blocs d'enseignement objet d'étude  
(Source : Auteur)

## V.4 Résumé des caractéristiques des blocs objet d'étude :

Les caractéristiques générales des blocs et des salles de classe sont résumées dans le tableau ci-après et illustrées par les figures qui suivent (voir aussi l'annexe A).

Blocs		Paramètres	Description
<b>BLOCI</b>	Bloc (R+1)	Organisation spatiale	Modèle linéaire avec une seule rangée
		Espace de distribution	Corridor latéral
	Salles de classe	Nombre	- 16 salles de classe au niveau du RDC ; - 15 salles de classe au niveau du 1 <sup>er</sup> étage
		Forme	- Salles de forme rectangulaire ; - 23 des salles comportent 04 façades en contact avec l'extérieur et 08 salles comportent 03 façades ; - Toutes les salles ont deux façades dotées d'ouvertures (l'une sur l'extérieur et l'autre sur le corridor)
		Ouvertures	- Ouvertures de forme rectangulaire ; - Position moyenne sur le mur de la façade
		Orientation	16 salles de salles sont orientées vers le Nord (façade principale) et 15 salles vers l'Ouest
		Protections solaires	- Façades Nord et Ouest : des lames verticales (dimensions réduites) - Façades Sud et Est : corridor couvert avec arcades (auvent + vis-à-vis)

<b>BLOC II</b>	Bloc (R+3)	Organisation spatiale	Modèle linéaire avec deux rangées
		Espace de distribution	Corridor central
	Salles de classe	Nombre	- 11 salles de classe au niveau du RDC ; - 12 salles de classe au niveau du 1 <sup>er</sup> étage ; - 12 salles de classe au niveau du 2 <sup>ème</sup> étage ; - 08 salles de classe au niveau du 3 <sup>ème</sup> étage ;
		Forme	- Salles de forme rectangulaire ; - 30 salles de classe comportent 02 façades en contact avec l'extérieur et 14 salles comportent une seule façade ; - Toutes les salles ont une seule façade dotée d'ouvertures (façade principale)
		Ouvertures	- Ouvertures de forme rectangulaire ; - Position moyenne sur le mur de la façade
		Orientation	22 salles de classe sont orientées vers l'Est et 21 salles vers l'Ouest
		Protections solaires	Le même traitement de façade pour les orientations Est et Ouest ; des écrans verticaux et horizontaux (dimensions réduite)
<b>BLOC III</b>	Bloc (R+3)	Organisation spatiale	Modèle linéaire avec deux rangées
		Espace de distribution	Corridor central

	Salles de classe	Nombre	12 salles de classe pour chaque niveau. Celles du RDC sont utilisées comme laboratoires de langues
		Forme	- Salles de forme rectangulaire ; - 24 salles de classe comportent trois (03) façades en contact avec l'extérieur et 24 salles comportent 02 façades ; - Toutes les salles ont une seule façade pourvue d'ouvertures (façade principale)
		Ouvertures	- Ouvertures de forme rectangulaire ou arquée (pour le dernier niveau) ; - Position moyenne sur le mur de la façade
		Orientation	24 salles de classe sont orientées vers le Nord et 24 salles vers le Sud
		Protections solaires	Le même traitement de façade pour les orientations Nord et Sud ; des écrans verticaux et horizontaux (dimensions réduites)
<b>BLOC IV</b>	Bloc (R+1)	Organisation spatiale	Modèle linéaire avec deux rangées
		Espace de distribution	Espace central d'importante largeur abritant outre que la circulation horizontale, la circulation verticale. De plus, il est muni d'éclairage zénithal
	Salles de classe	Nombre	- 08 salles de classe au niveau du RDC ; - 08 salles de classe au niveau du 1 <sup>er</sup> étage
		Forme	- Salles de forme rectangulaire ; - 06 salles comportent 02 façades en contact avec l'extérieur et 10 salles comporte une seule ; - Toutes les salles ont deux façades pourvues d'ouvertures (la façade principale donnant vers l'extérieur et celle donnant sur l'espace de distribution)

		Ouvertures	- Ouvertures de forme carrée ; - Position basse sur le mur de la façade
		Orientation	08 salles de classe sont orientées vers le Nord et 08 salles vers le Sud
		Protections solaires	Des éléments arqués au-dessus des ouvertures de 1 <sup>er</sup> étage
<b>BLOC V</b>	Bloc (R+3)	Organisation spatiale	Modèle linéaire avec deux rangées
		Espace de distribution	Espace central d'importante largeur d'où se dégagent des mezzanines. En outre, il est muni d'un éclairage zénithal
	Salles de classe	Nombre	- 06 salles de dessin au niveau du RDC ; - 06 salles de dessin et 04 salles de classe au niveau du 1 <sup>er</sup> étage ; - 06 salles de dessin et 04 salles de classe au niveau du 2 <sup>ème</sup> étage ; - 02 salles de dessin et 04 salles de classe au niveau du 3 <sup>ème</sup> étage
		Forme	- Les salles de classe sont de forme carrée ; - 09 salles de classe comportent 02 façades en contact avec l'extérieur et 03 salles comportent une seule façade ; - Toutes les salles ont une seule façade pourvue d'ouvertures (façade principale)
		Ouvertures	- Ouvertures de forme rectangulaire ou carrée ; - Position hybride sur le mur de la façade
		Orientation	06 salles de classe sont orientées vers le Nord et les 06 autres vers le Sud

		Protections solaires	- Façades Nord : des lames verticales ; - Façades Sud : écrans horizontaux et verticaux (dimensions importantes)
<b>BLOC VI</b>	Bloc (R+1)	Organisation spatiale	Modèle linéaire avec deux rangées
		Espace de distribution	Corridor central
	Salles de classe	Nombre	- 04 salles de classe au niveau du RDC ; - 04 salles de classe au niveau du 1 <sup>er</sup> étage
		Forme	- Salles de forme rectangulaire, mais de différentes proportions ; - Une seule salle comporte 02 façades en contact avec l'extérieur et 07 autres salles comportant une seule façade ; - Une seule salle a deux façades pourvues d'ouvertures et 07 salles ont une seule
		Ouvertures	- Ouvertures de forme rectangulaire ; - Position moyenne sur le mur de la façade
		Orientation	04 salles de classe sont orientées vers le Nord et les 06 autres vers le Sud
		Protections solaires	Des lames verticales composées avec un élément arqué pour la façade orienté Nord et celle orientée Sud

Tableau V.2 : tableau récapitulatif des caractéristiques des blocs objet d'étude  
(Source : auteur)

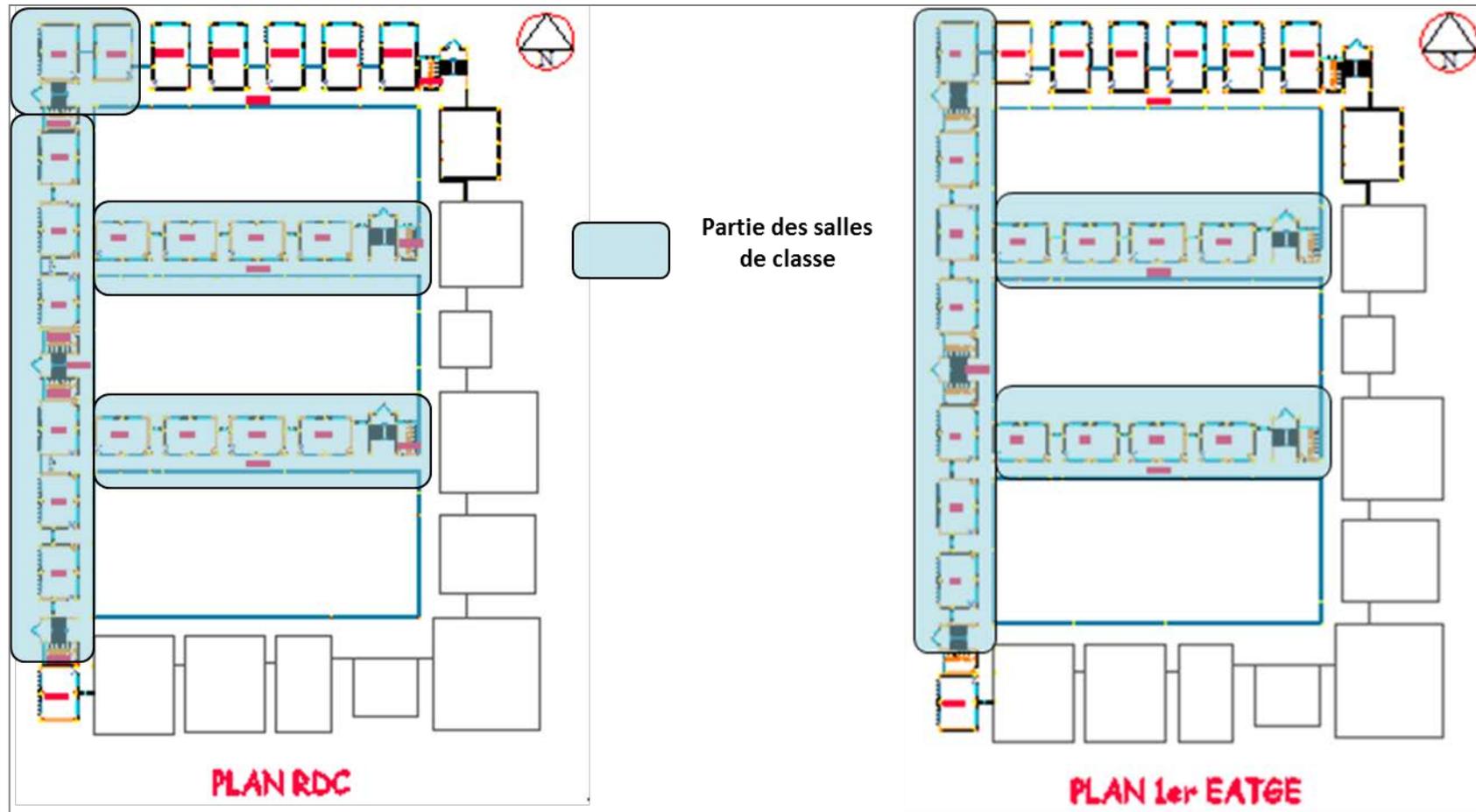


Fig V.4 : Plans de RDC et 1<sup>er</sup> étage Bloc I  
(Source : Auteur)

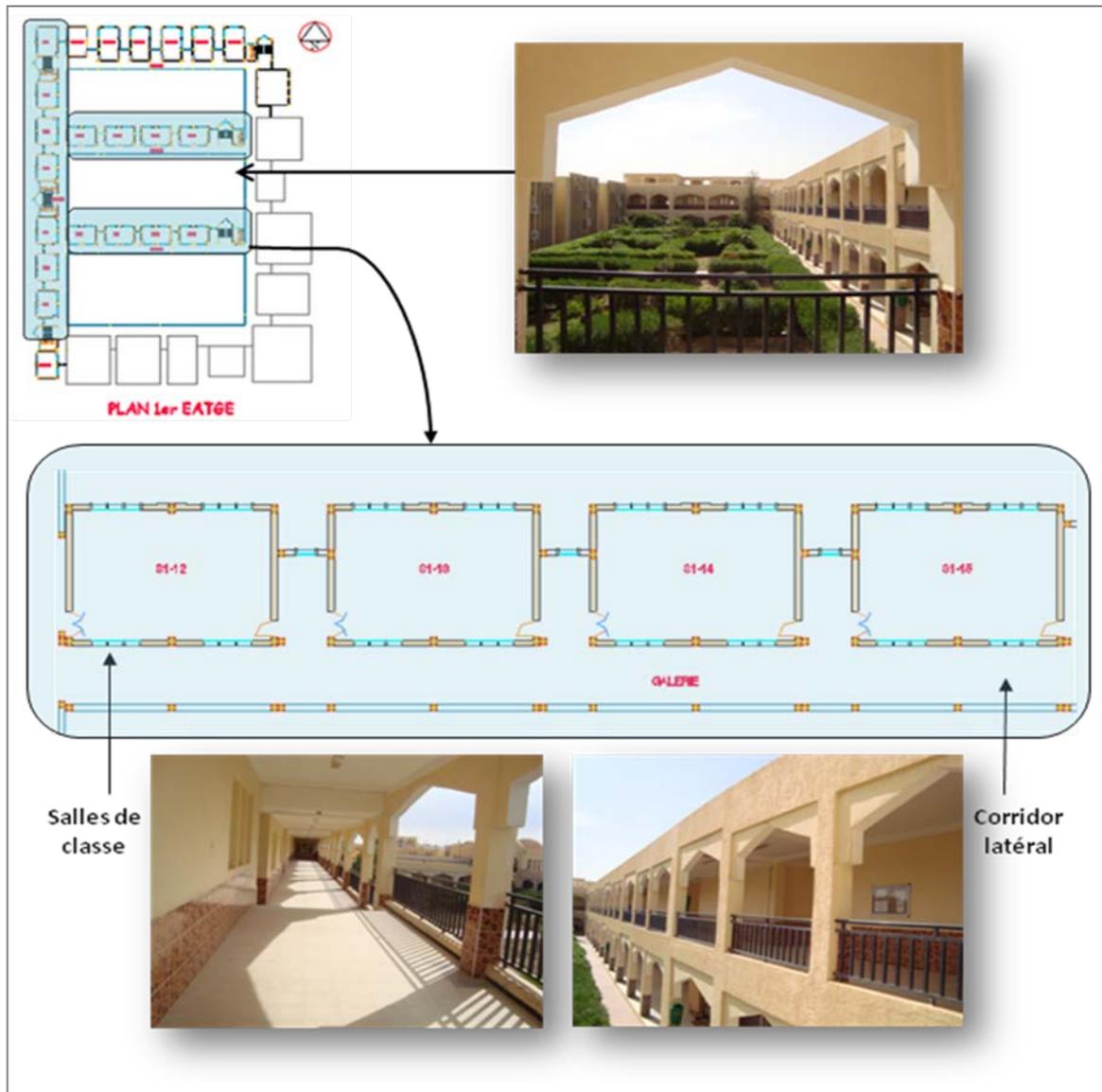


Fig V.5 : Organisation du plan du bloc I ; modèle linéaire seule rangée  
(Source : Auteur)

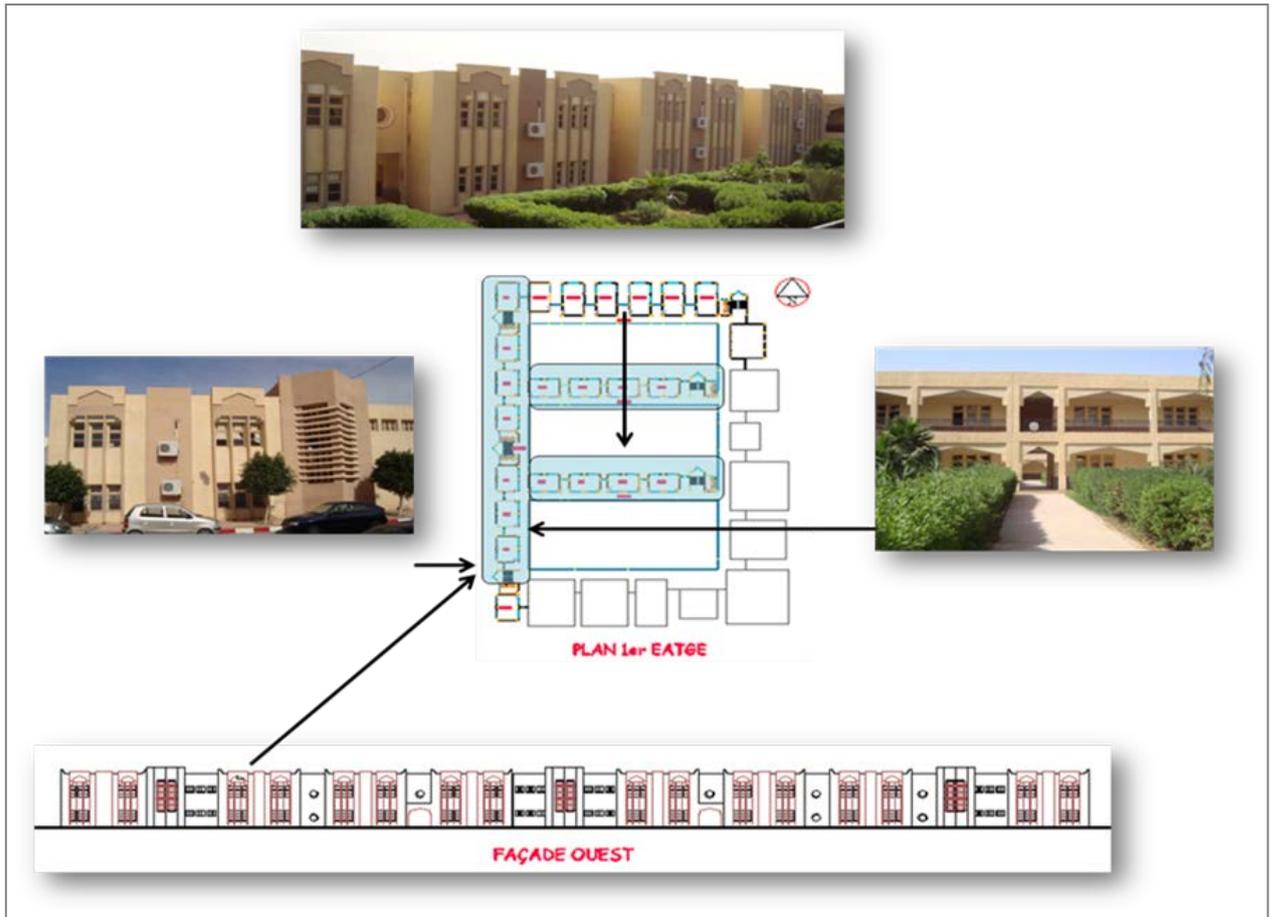


Fig V.6 : Quelques vues sur les différentes façades du bloc I  
(Source : Auteur)

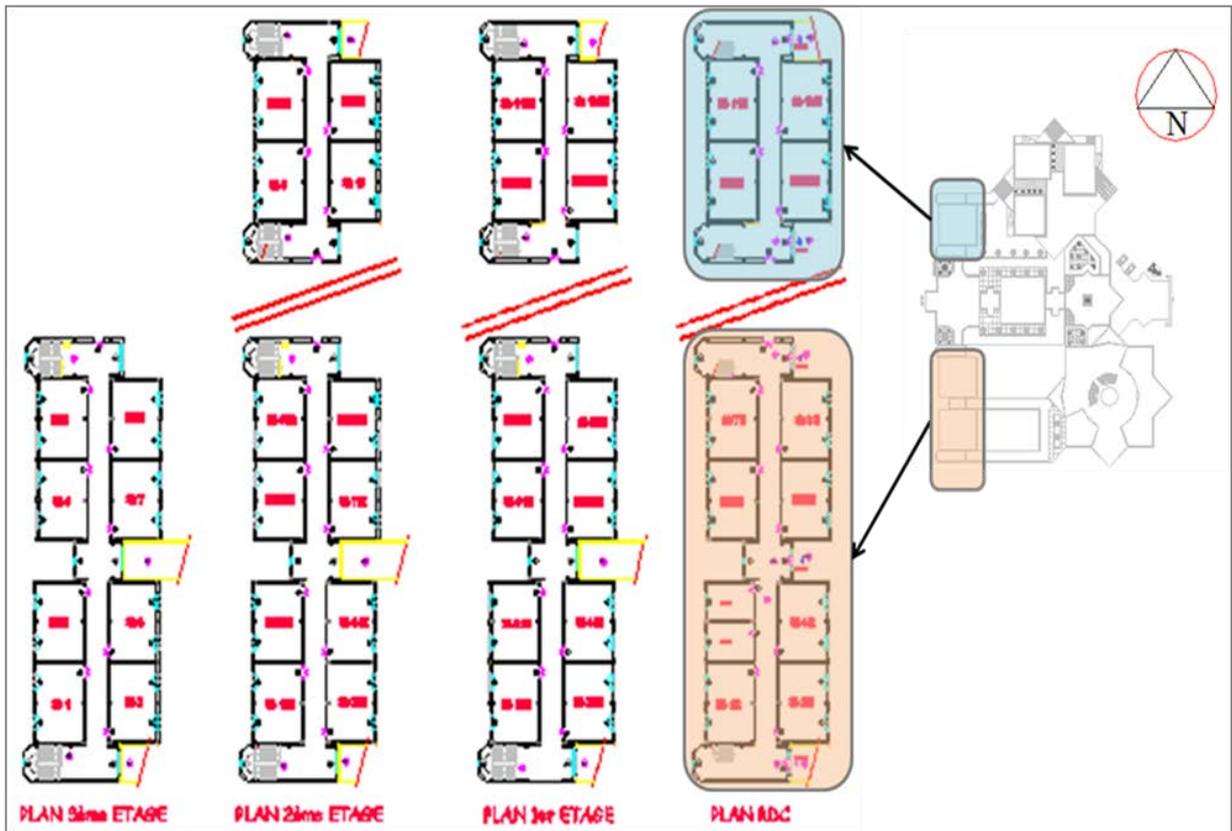


Fig V.7 : Plans de différents niveaux du Bloc II  
(Source : Auteur)

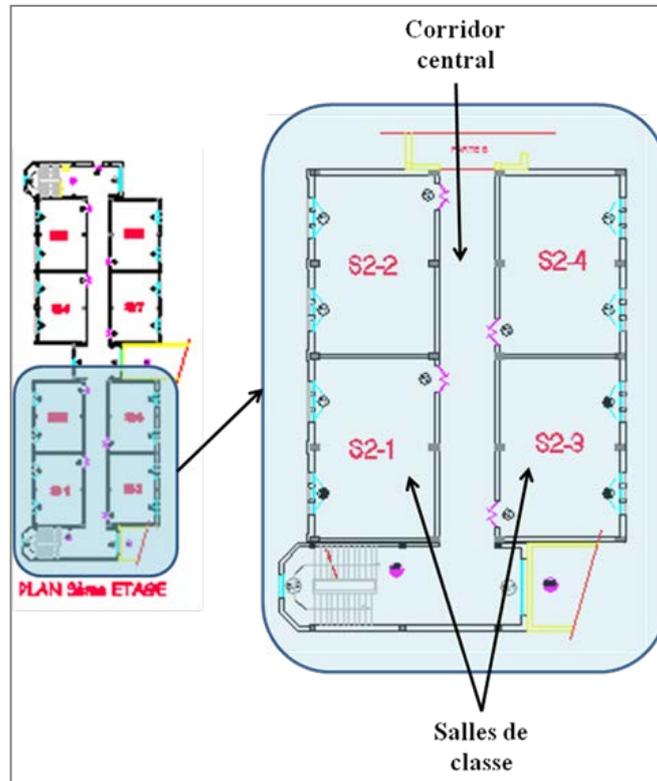


Fig V.8 : Organisation du plan du bloc II ; modèle corridor central  
(Source : Auteur)

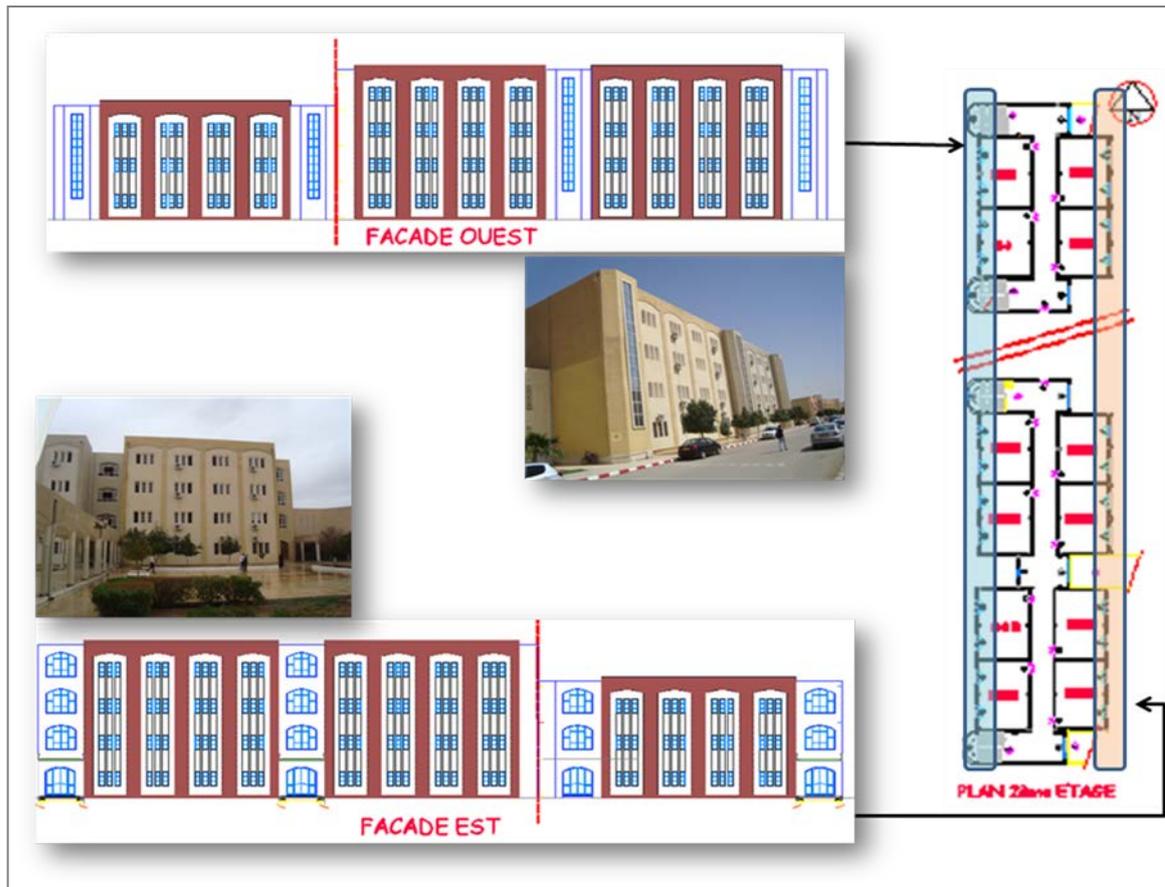


Fig V.9 : Quelques vues sur les différentes façades du bloc II  
(Source : Auteur)

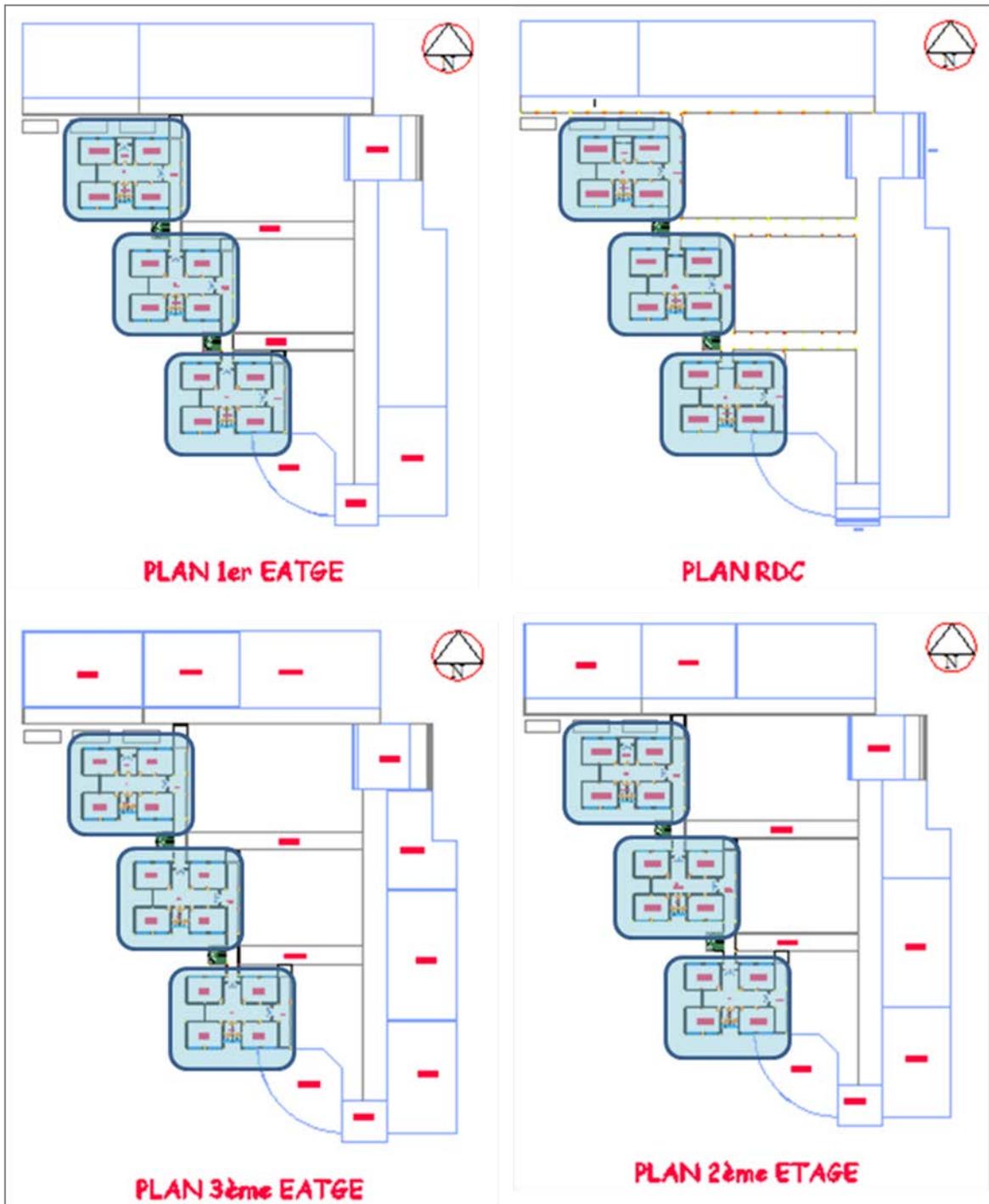


Fig V.10 : Plans de différents niveaux du Bloc III  
(Source : Auteur)

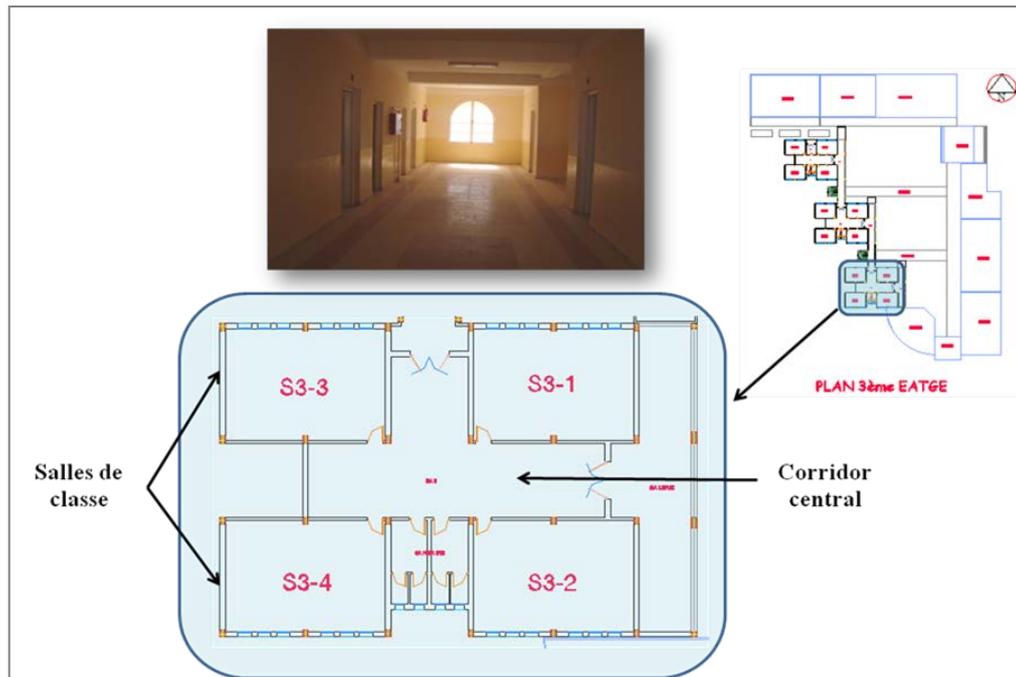


Fig V.11 : Organisation du plan du bloc III ; modèle corridor central  
(Source : Auteur)

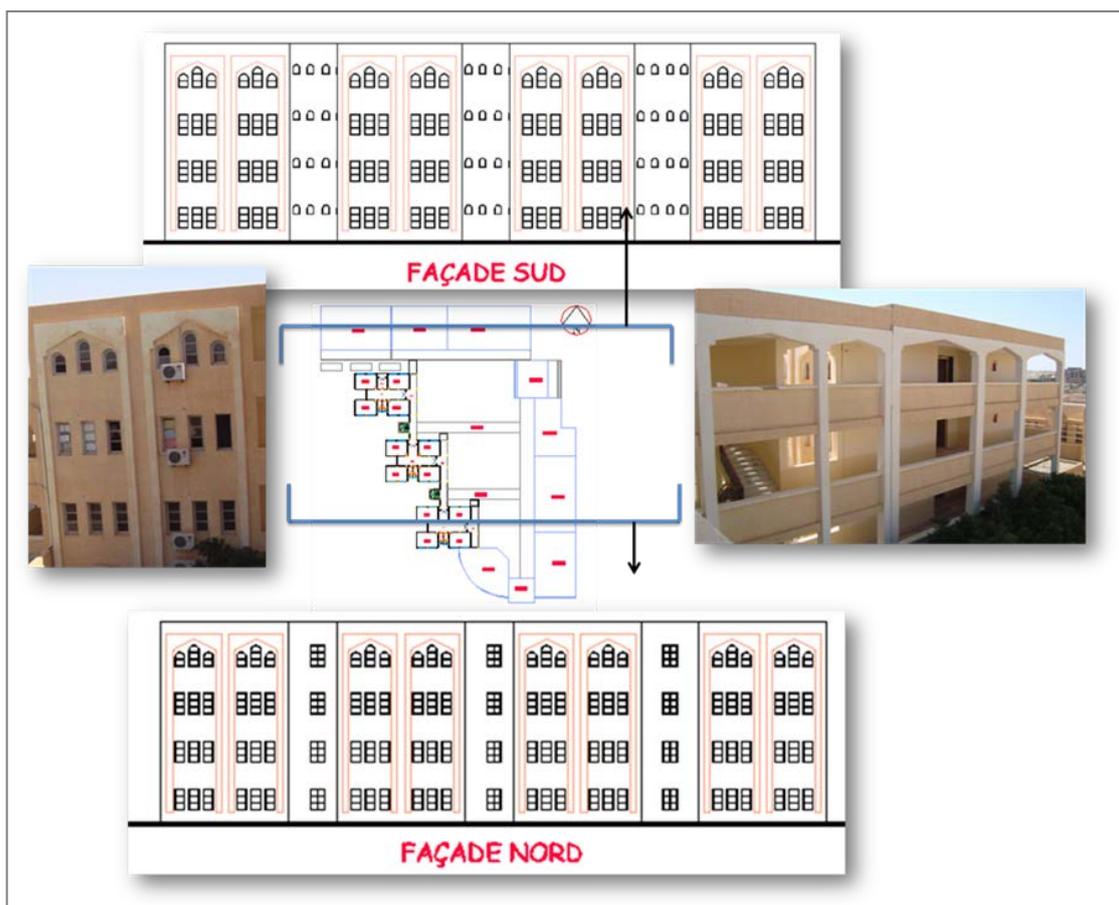


Fig V.12 : Quelques vues sur les différentes façades du bloc III  
(Source : Auteur)

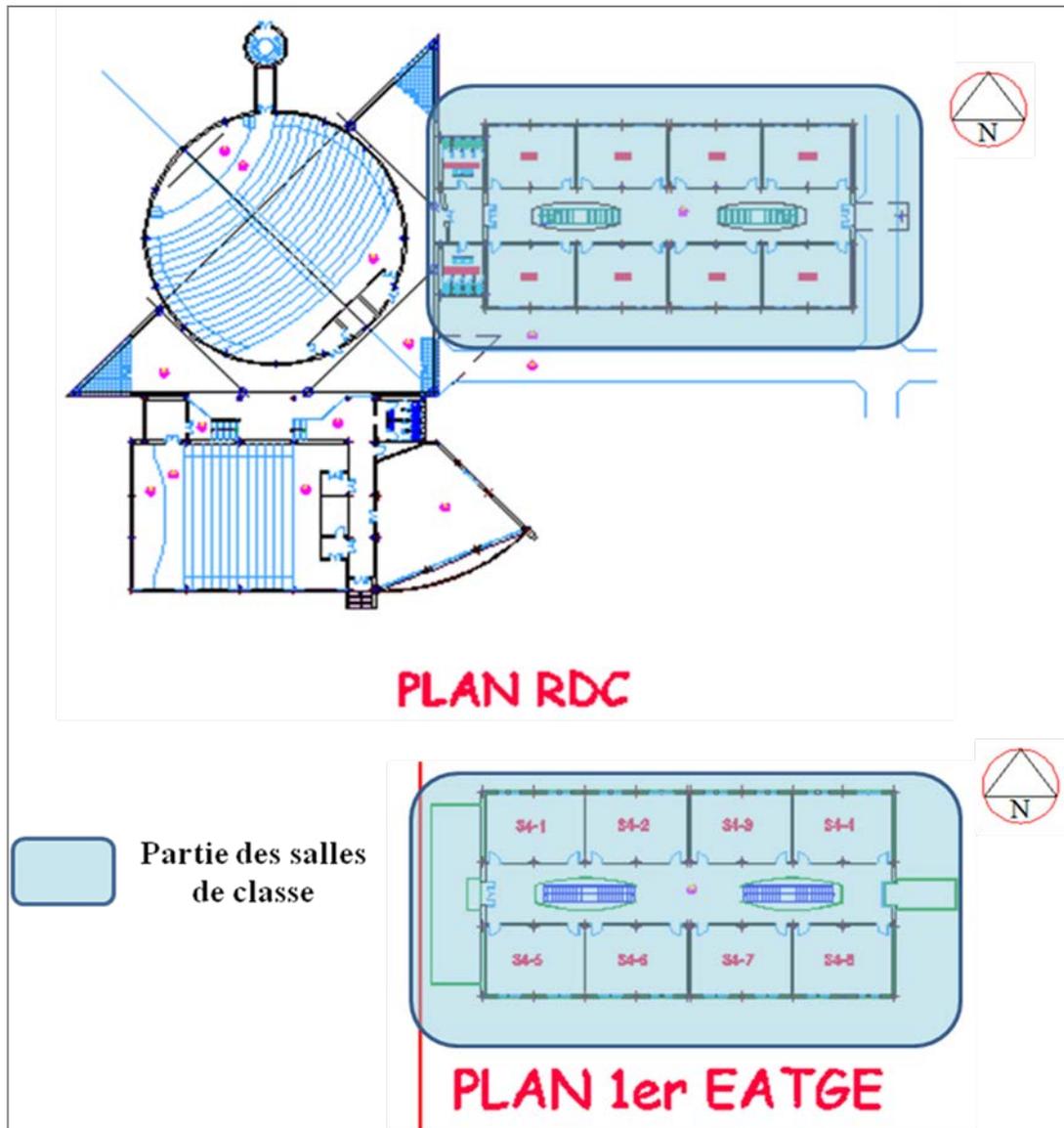


Fig V.13 : Plans des différents niveaux du Bloc IV  
(Source : Auteur)

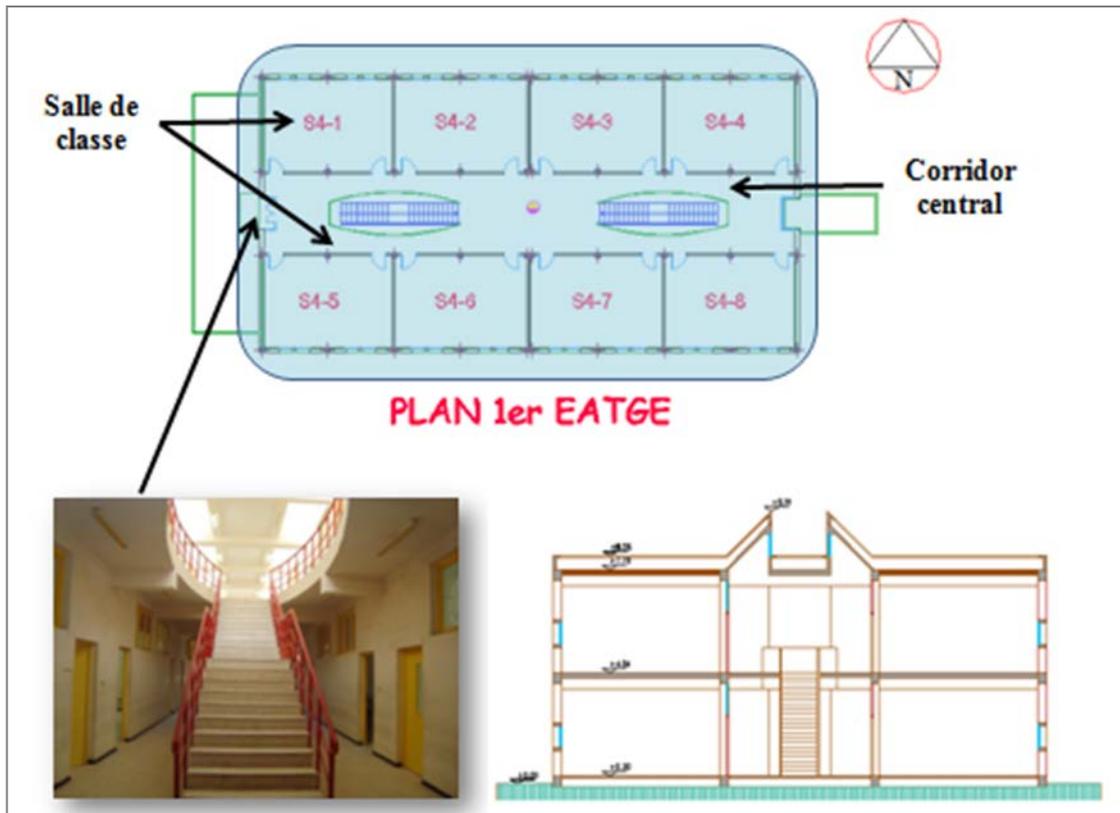


Fig V.14 : Organisation du plan du bloc IV ; modèle corridor central  
(Source : Auteur)

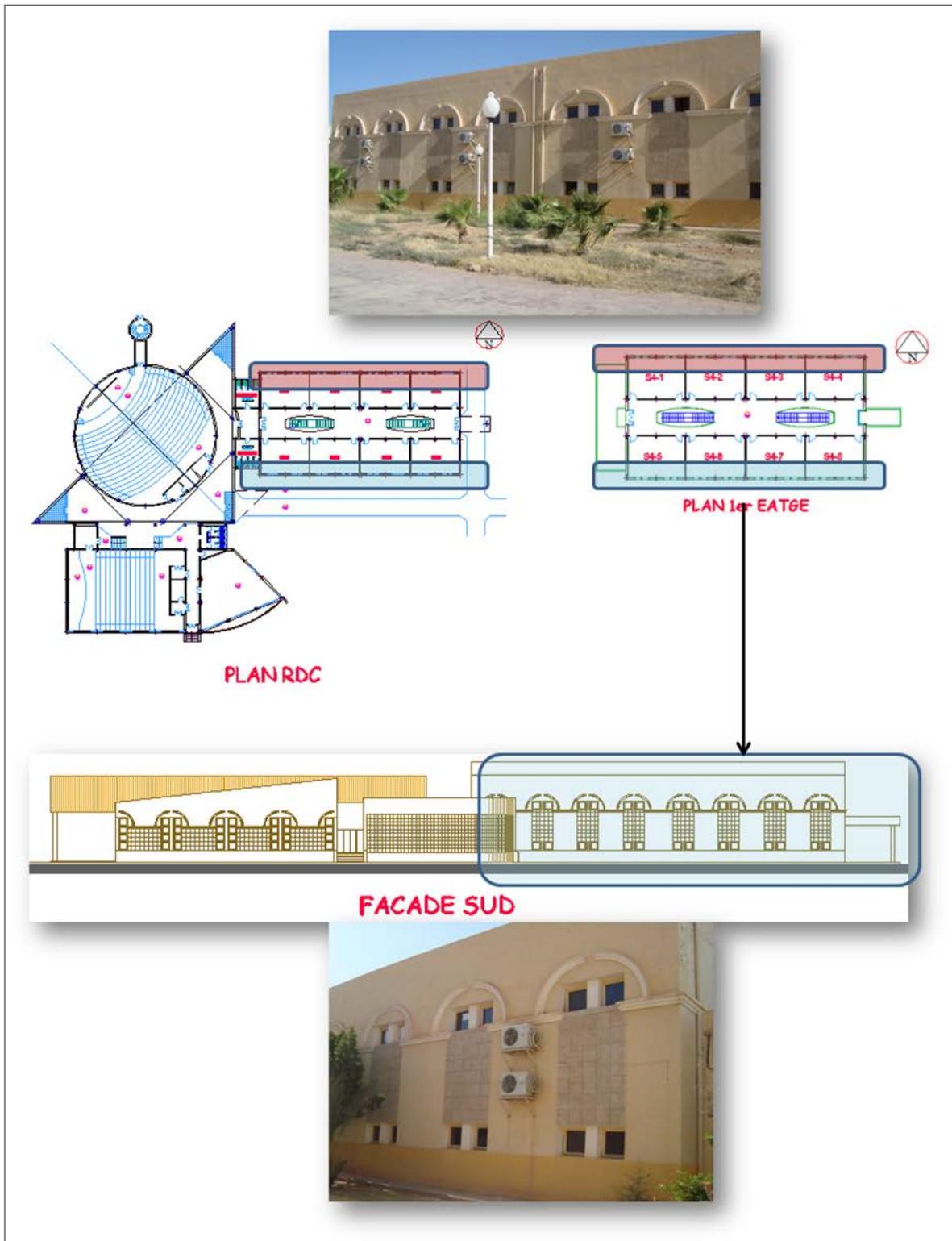


Fig V.15 : Quelques vues sur les différentes façades du bloc IV  
(Source : Auteur)

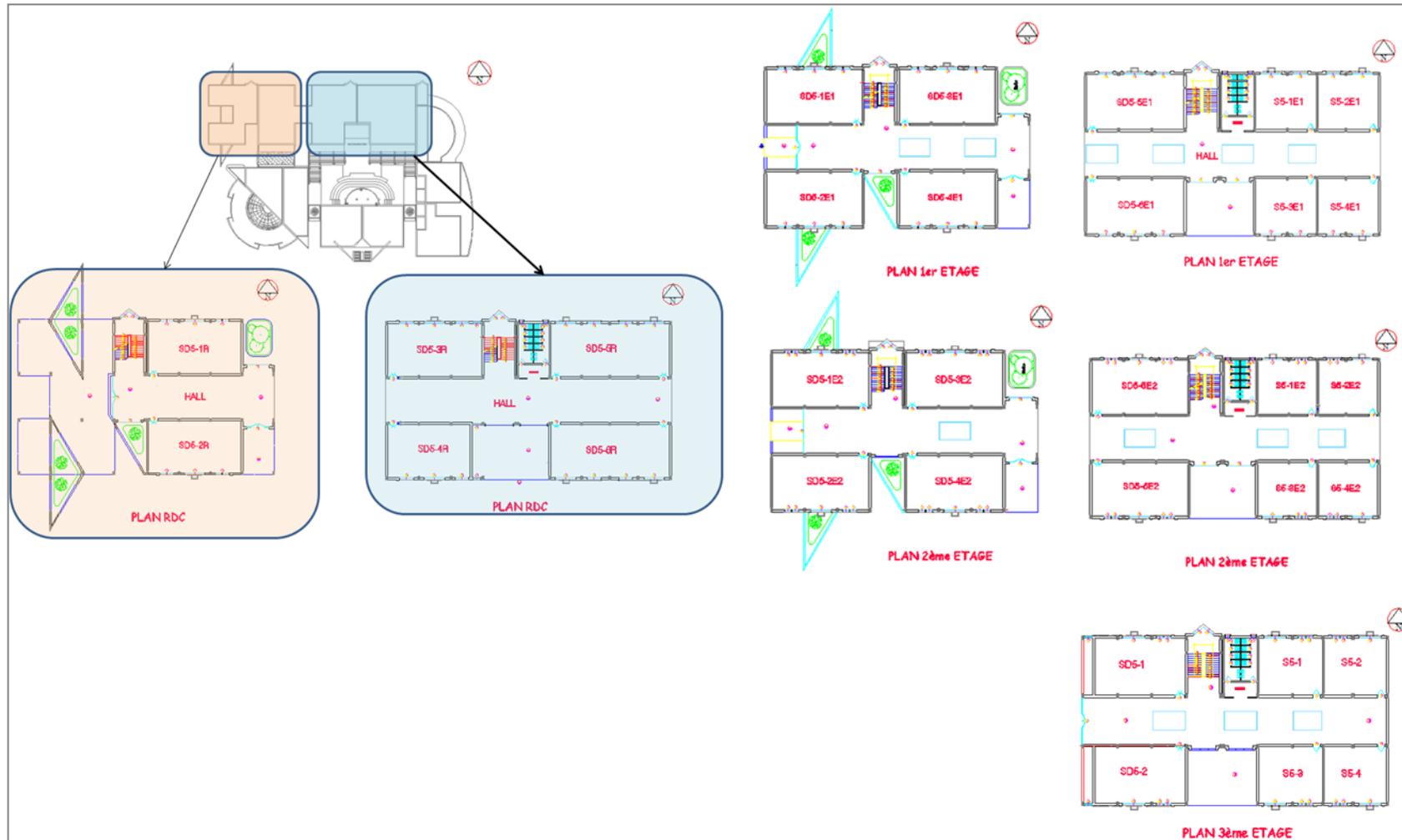


Fig V.16 : Plans des différents niveaux du Bloc V  
(Source : Auteur)

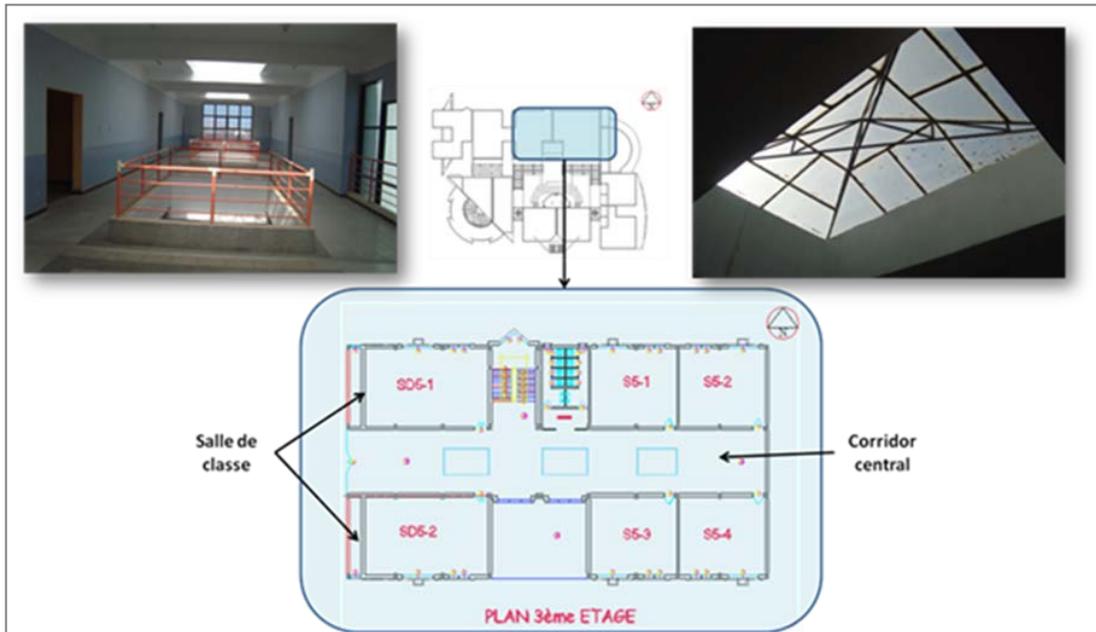


Fig V.17 : Organisation du plan du bloc V ; modèle corridor central  
(Source : Auteur)



Fig V.18 : Quelques vues sur les différentes façades du bloc V  
(Source : Auteur)

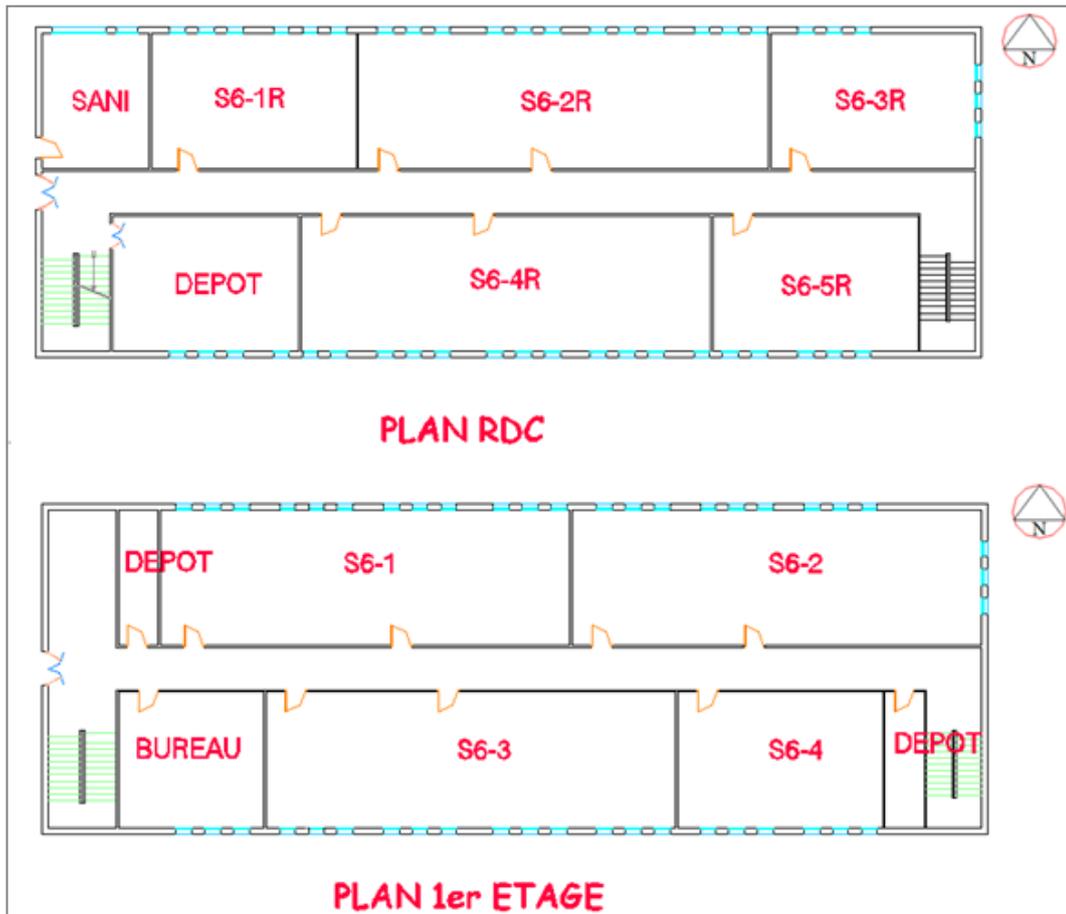


Fig V.19 : Plans des différents niveaux du Bloc VI  
(Source : Auteur)

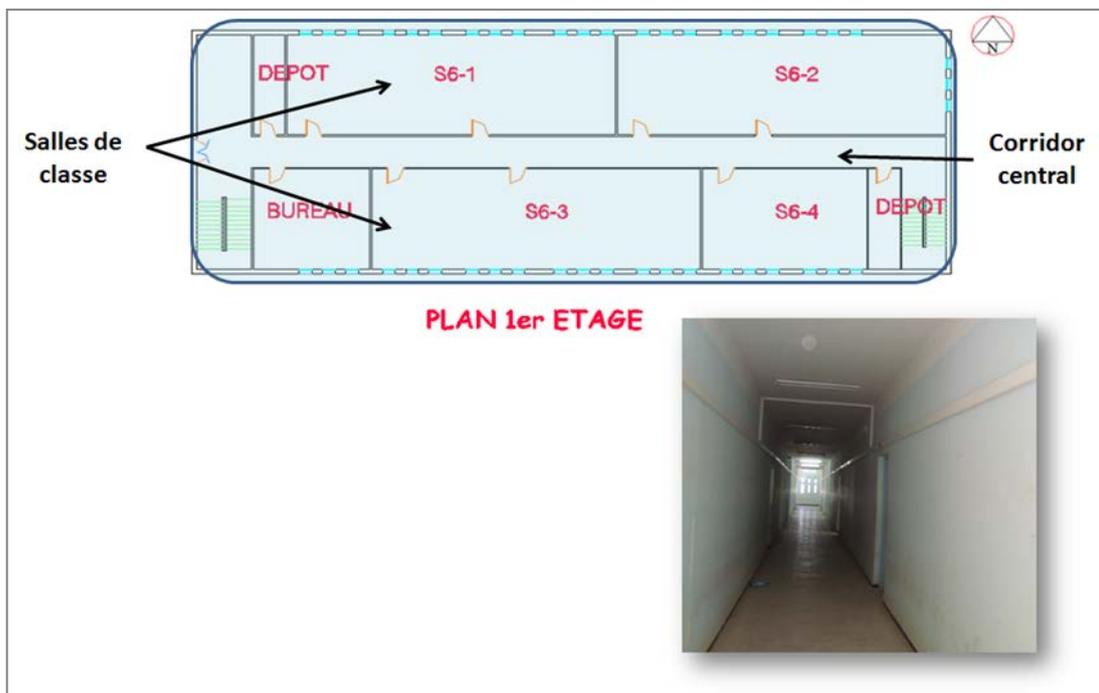


Fig V.20 : Organisation du plan du bloc VI ; modèle corridor central  
(Source : Auteur)

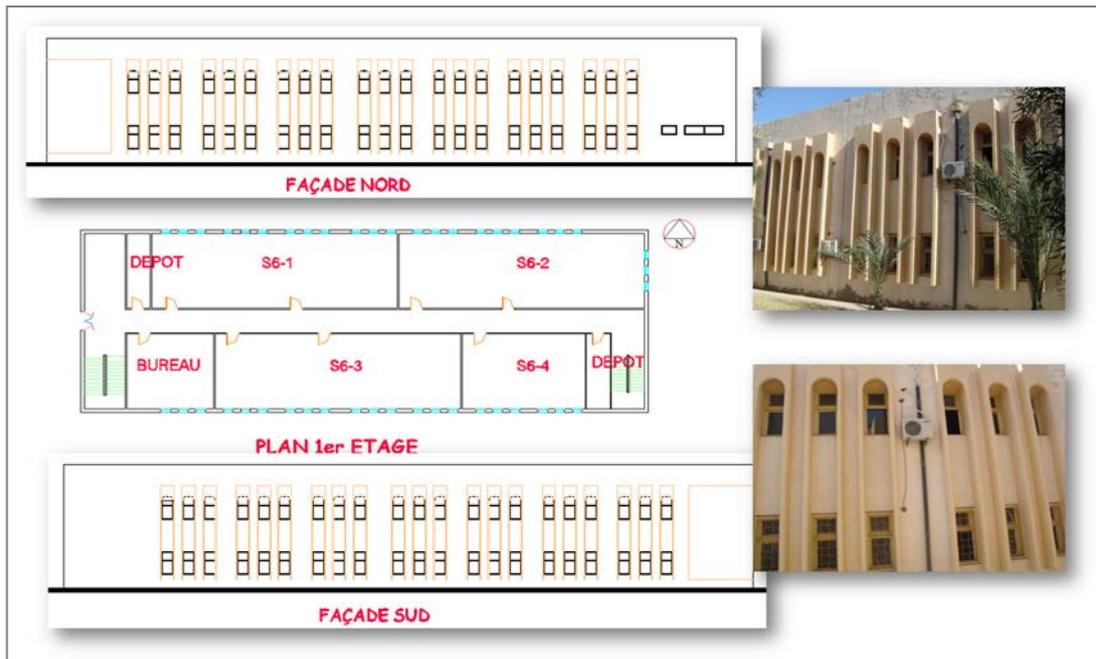


Fig V.21 : Quelques vues sur les différentes façades du bloc VI  
(Source : Auteur)

## V.5 Synthèse :

L'analyse de l'échantillon d'étude montre la présence de modèles différents de blocs d'enseignement et une variété de caractéristiques pour les salles de classe. Cela nous permettra d'évaluer différents choix, ce qui participe à canaliser l'étude à ses objectifs tracés.

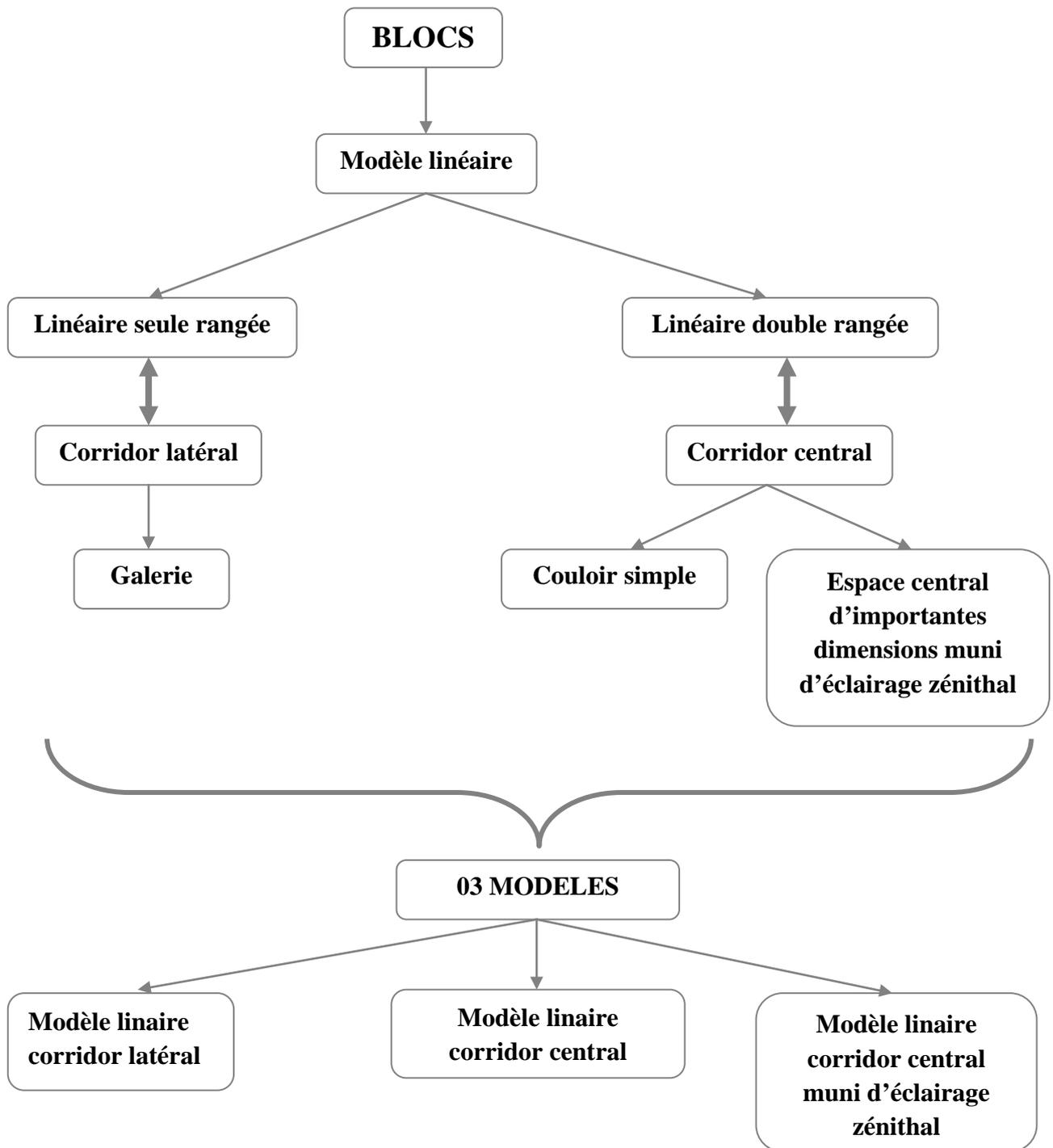


Fig V.22 : Modèles des blocs d'enseignements  
(Source : Auteur)

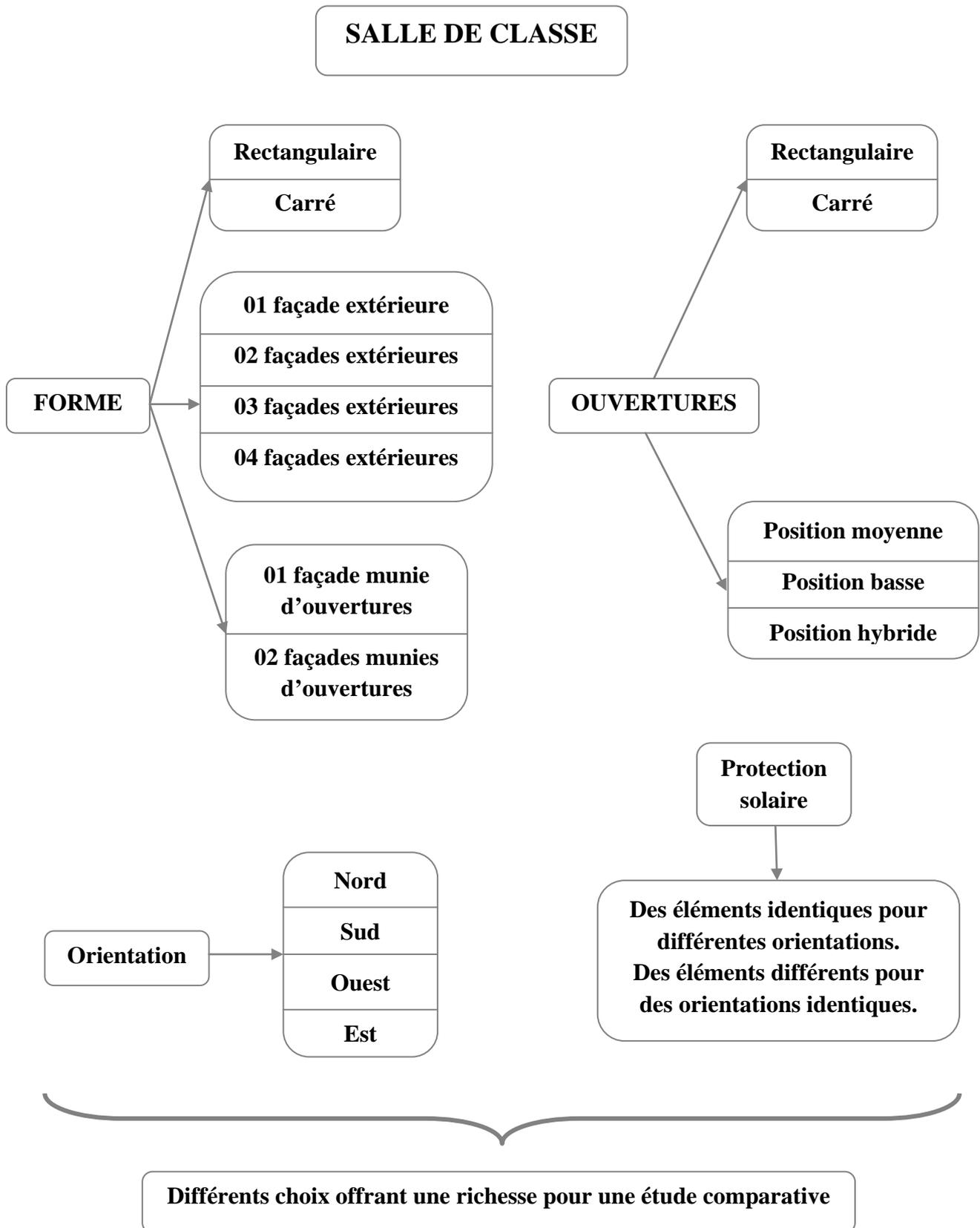


Fig V.23 : Diverses caractéristiques des salles de classe  
(Source : Auteur)

## **Conclusion :**

Ce chapitre a été consacré à la présentation de l'échantillon d'étude. La ville de Biskra a été choisie en raison de sa localisation dans le périmètre du climat chaud et sec. Ainsi, le campus universitaire Mohamed Khider a été choisi comme représentatif des modèles des bâtiments d'enseignement supérieur les plus récurrents à l'échelle nationale.

Cette présentation a enveloppée six (06) blocs de salles de classe réservées aux travaux dirigés (TD) pour ressortir leurs différentes caractéristiques ayant relation avec nos objectifs de recherche. Elle nous a permis d'explorer les caractéristiques des salles de classe, des espaces de distribution et ainsi, des blocs d'enseignement.

Pour synthèse, trois (03) modèles d'organisation des blocs d'enseignement ont été ressortis : modèle à corridor latéral, modèle à corridor central et modèle à corridor central muni d'un éclairage zénithal. En outre, une variété des caractéristiques des salles de classe a été retenue. Cela contribue à l'enrichissement de notre étude et à son aboutissement aux objectifs tracés.

Enfin, cette analyse sert comme base et nous facilite les tâches dans les chapitres qui suivent.

# CHAPITRE VI :

## MODÈLE D'ANALYSE ET PROCESSUS MÉTHODOLOGIQUE

*« L'analyse montre la voie par laquelle  
une chose a été méthodiquement  
inventée et fait voir comment les effets  
dépendent des causes »*

René Descartes

## **Introduction :**

L'étude du confort hygrothermique d'un environnement donné implique le recours à la fois à des évaluations objectives de l'environnement physique (mesures des paramètres physiques) et des évaluations subjectives, visant la perception des occupants de cet environnement. Cela implique un double choix des méthodes d'évaluation ; une quantitative et l'autre qualitative.

Nous allons, donc, expliquer dans le présent chapitre, les méthodes et les techniques d'évaluation qui nous permettront d'atteindre nos objectifs. Nous présenterons, ainsi, la démarche adoptée pour l'aboutissement à terme de notre travail.

Avant d'entamer ces points, il y a lieu d'une analyse typologique appliquée sur l'échantillon d'étude afin de ressortir et de différencier les caractéristiques des différents blocs et salles de classe composant cet échantillon et d'arriver à la fin à des typologies représentant les modèles les plus récurrents pour l'application de notre démarche de travail.

## VI.1 Analyse typologique :

### VI.1.1 Quelques notions :

Apparu au XVIII<sup>e</sup> siècle, le concept « typologie » est un aspect fondamental de la discipline de l'architecture utilisé pour faire référence à l'étude des « types » (Nik Ibrahim, 2007 ; Güney, 2007). Ce dernier est décrit comme « *un arrangement déduit par un processus de distillation d'un groupe de variantes formelles à une forme de base ou un arrangement commun ... Sa naissance est conditionnée par le fait qu'une série de bâtiments partage une analogie fonctionnelle et formelle évidente* » (Petruccioli, 1996 cité Dolapo, 2007).

La typologie est, donc, la classification raisonnée des types, qui implique simultanément, à travers l'analyse d'un corpus exhaustif d'édifices un travail d'identification des types (Mazouz, 2010). Cet acte de classification permet à la multiplicité de se transformer en unité (Güney, 2007).

Pour un ensemble d'objets décrits par un nombre de caractéristiques, l'analyse typologique vise à identifier des groupes d'objets de façon que ceux au sein d'un même groupe soient les plus similaires et homogènes et que les groupes soient aussi dissemblables que possible et se distinguent clairement les uns des autres.

La typologie peut être employée comme base pour l'analyse des bâtiments et des villes (typologie analytique) ou comme base pour la conception des bâtiments (typologie génératrice), elle peut servir, dans ce deuxième cas selon Crowe. N (1984), de moyen pour octroyer un ample échantillon d'exemples utiles dans le processus de conception (Dolapo, 2007 ; Montenegro Iturra, 2011).

Pour procéder une analyse typologique, il faut suivre quelques étapes :

- Définir le corpus d'analyse ;
- Enumérer les différents critères pouvant servir à constituer les groupes ;
- Regrouper par famille des objets qui présentent les mêmes réponses à une série de critères ;
- Elaborer les typologies.

## VI.1.2 Procédure de l'analyse typologique :

L'analyse typologique est entreprise sur l'échantillon d'étude décrit dans le chapitre précédent. Elle est structurée selon les étapes suivantes :

### VI.1.2.1 Définition des critères de l'analyse typologique :

- **Pour les salles de classe :**

Les critères sur lesquels se base cette analyse sont les suivants :

#### a. La forme de la salle de classe :

- **Proportions de la salle de classe :** elle représente le rapport entre la largeur et la profondeur « largeur / profondeur ». Plusieurs valeurs peuvent être existées : proportion 1/1, proportions 1/3, proportion 3/2, ... etc.

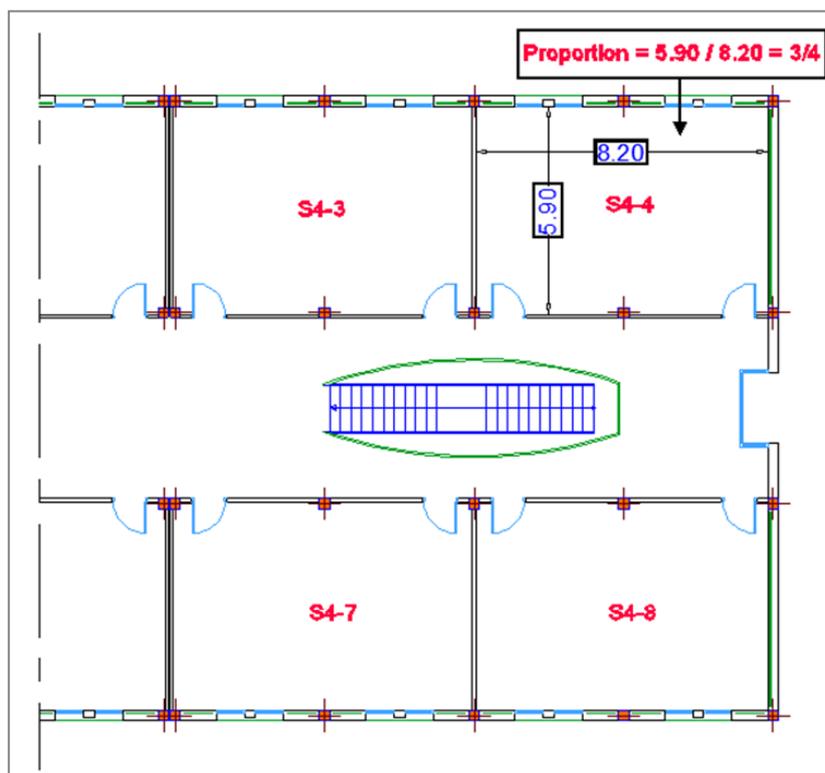


Fig VI. 1 : Exemple de la proportion de la salle de classe  
(Source : Auteur)

- **Localisation de la salle de classe :** qui représente la combinaison des deux facteurs : la localisation de la salle de classe au niveau du plan (au niveau horizontal) exprimé par le nombre des façades libres, et sa localisation en élévation (RDC, étage courant, dernier étage).

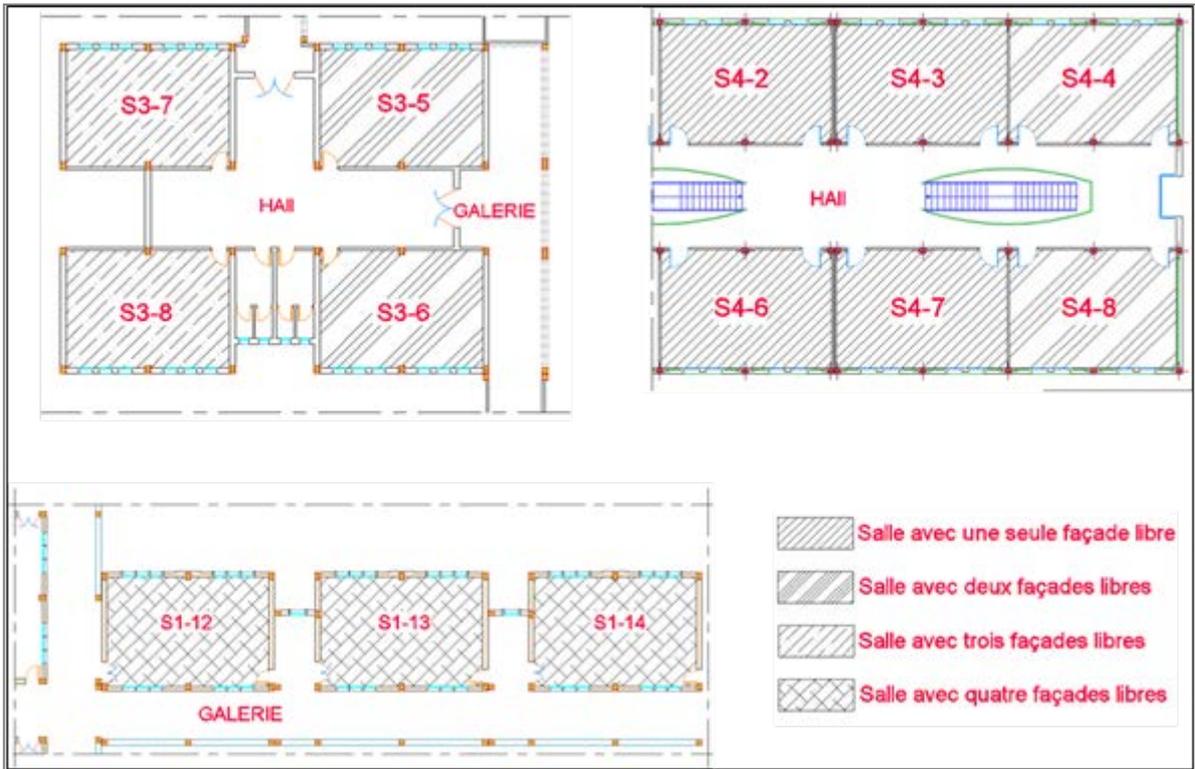


Fig VI. 2 : Différentes localisations des salles de classe  
(Source : Auteur)

- **Nombre de Murs pourvus d'ouvertures :** c'est un paramètre très important pour l'étude du confort thermique. La salle de classe peut être munie d'ouvertures unilatéralement ou bien bilatéralement.

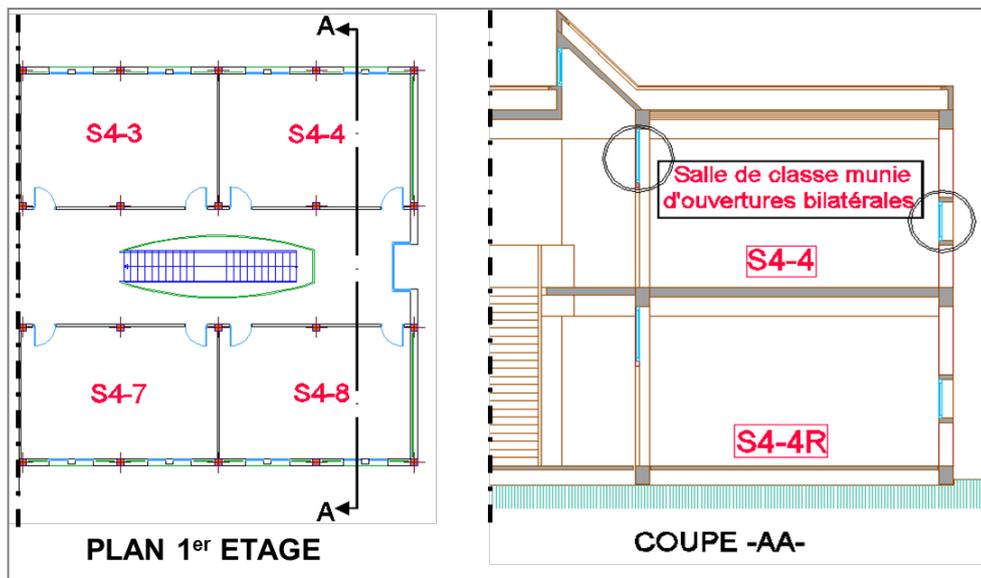


Fig VI. 3 : Exemple d'une salle de classe munie d'ouvertures bilatéralement  
(Source : Auteur)

**b. Les ouvertures :**

- **Pourcentage des ouvertures :** traduit par le rapport « surface ouvertures / surface plancher ».

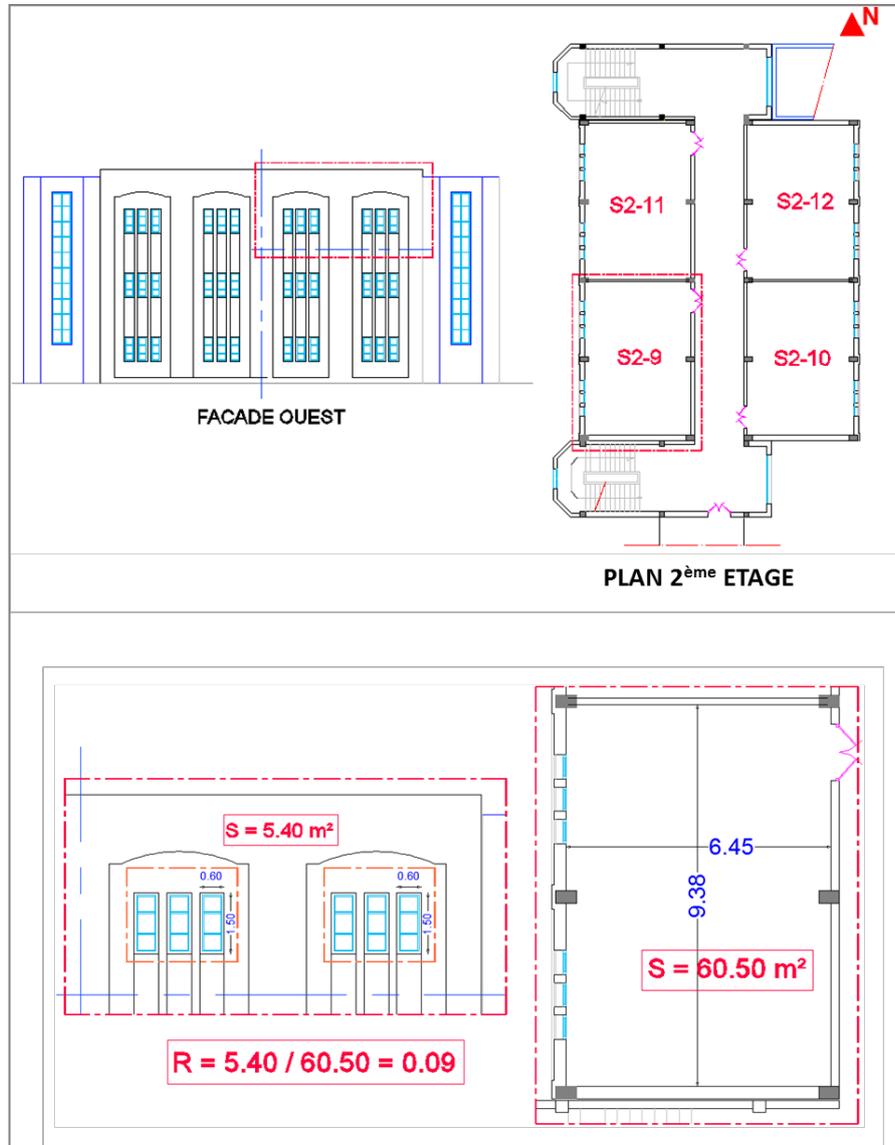


Fig VI. 4 : Exemple du pourcentage d'ouvertures  
(Source : Auteur)

- **Position des ouvertures sur le mur de la façade :** position basse, position moyenne, position haute, autres positions.

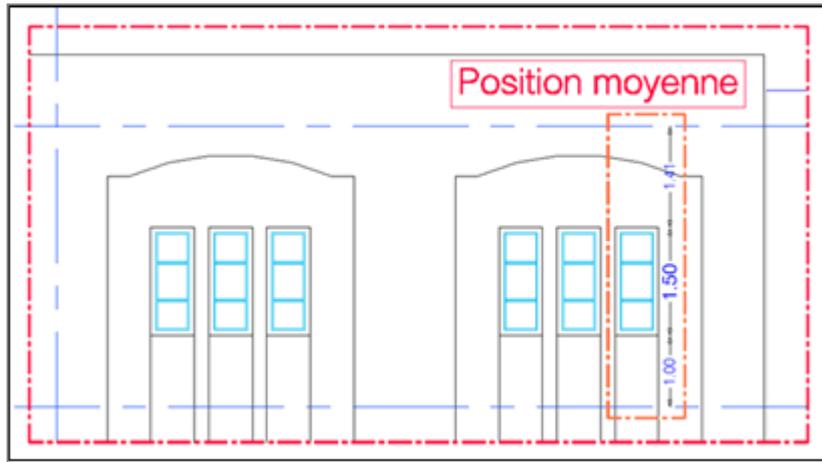


Fig VI. 5 : Exemple de la position des ouvertures sur le mur de la façade  
(Source : Auteur)

**c. L'orientation :**

- **Orientation de la façade principale de la salle de classe :** cardinales (Nord, Sud, Est, Ouest) ou non cardinales (NE, NO, SE, SO, NNO, SSE...).

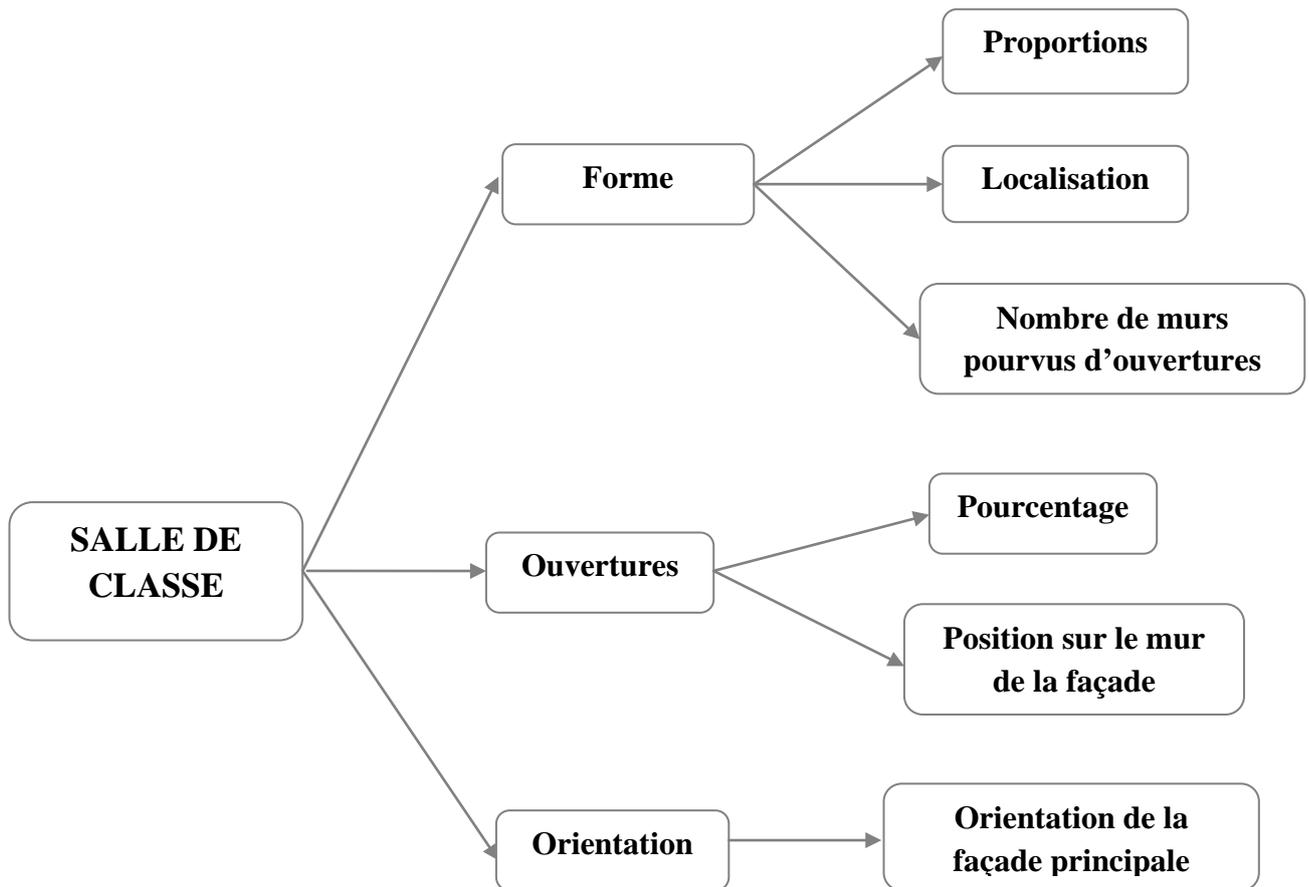


Fig VI. 6 : Critères de l'analyse typologique des salles de classe  
(Source : Auteur)

- **Pour les blocs d'enseignement :**

La typologie des blocs d'enseignement s'obtient à partir de l'organisation des salles de classe ainsi que la disposition et la forme des espaces de distribution.

A partir de cette définition, l'analyse typologique sera basée sur deux critères principaux :

- Organisation spatiale des salles de classe :** c'est-à-dire leur disposition. Il existe plusieurs formes d'organisation : en barre, en L, en U, en O, etc.
- Forme et disposition des espaces de distribution :** corridor latéral, corridor central, cour centrale ou autres formes.

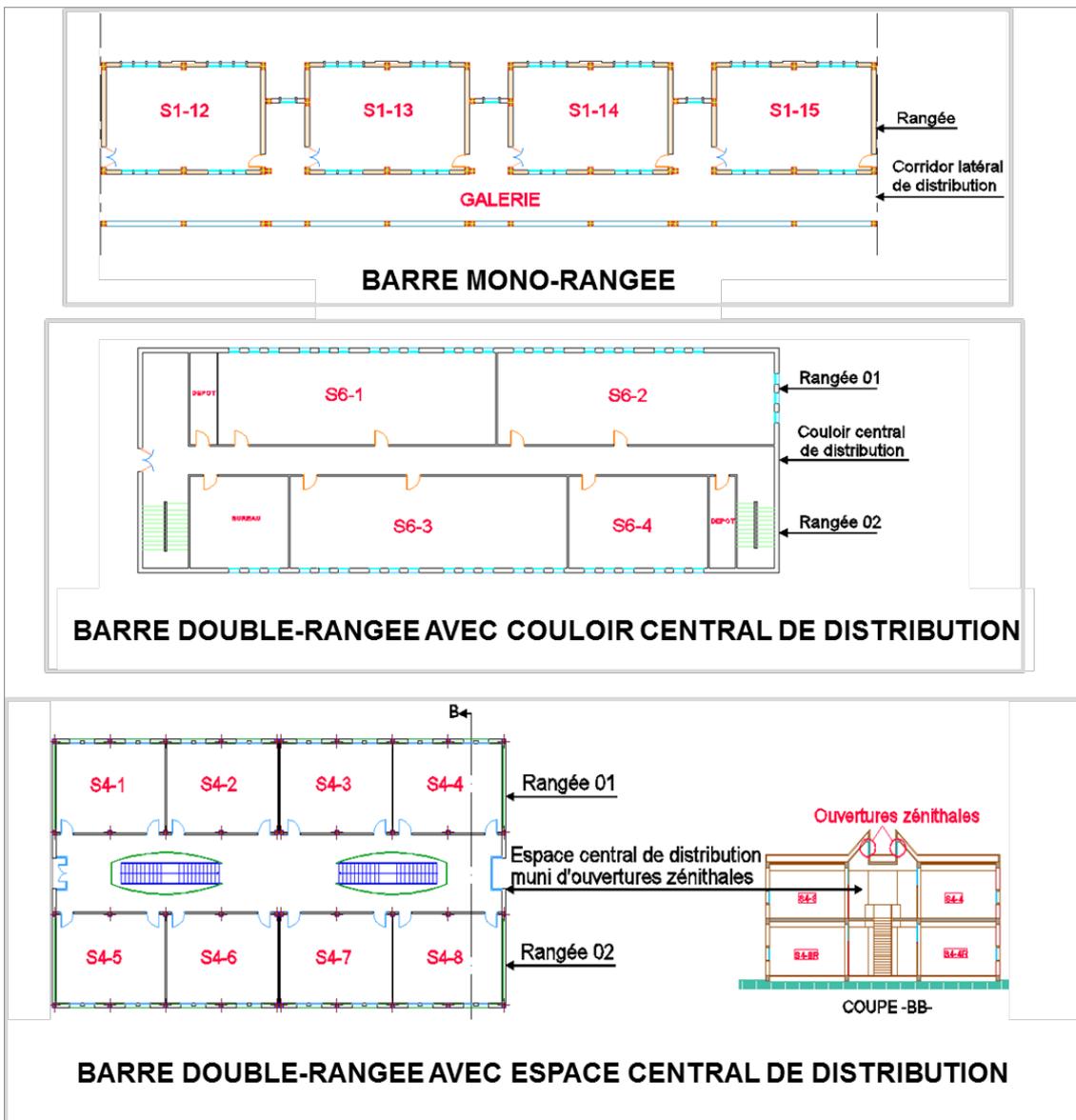


Fig VI. 7 : Exemples des typologies existantes des blocs d'enseignement étudiés  
(Source : Auteur)

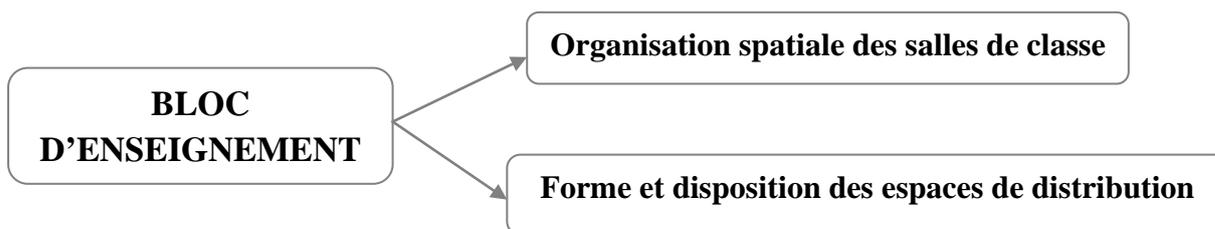


Fig VI. 8 : Critères de l’analyse typologique des blocs d’enseignement  
(Source : Auteur)

**VI.1.2.2 Ressortir et organiser les informations utiles pour l’analyse typologique :**

Après avoir énumérer les critères principaux sur lesquels se base l’analyse typologique, quelques informations paraissent nécessaires pour établir ces critères :

Critères d’analyse	Informations nécessaires
<b>Proportion de la salle</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Largeur de la salle de classe</li> <li>• Profondeur de la salle de classe</li> </ul>
<b>Localisation de la salle</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Localisation horizontale</li> <li>• Localisation verticale</li> </ul>
<b>Nombre des façades pourvues d’ouvertures</b>	/
<b>Pourcentage des ouvertures</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Surface des ouvertures</li> <li>• Surface du plancher (largeur x profondeur)</li> </ul>
<b>Position des ouvertures sur la façade</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hauteur des ouvertures</li> <li>• Hauteur d’allège</li> <li>• Hauteur du mur de la façade</li> </ul>
<b>Orientation de la façade principale</b>	/

Tableau VI. 1 : Critères de l’analyse typologique et informations nécessaires  
(Source : Auteur)

En se basant sur ces deux étapes expliquées ci-dessus, des tableaux récapitulatifs des critères d’analyse de toutes les salles de classe seront établis. Le tableau ci-après représente un exemple. D’autres tableaux sont disponibles dans l’annexe B.

**N.B :** Vu le nombre important des typologies obtenus après une première analyse typologique, nous avons opté pour prendre uniquement les salles situées au dernier niveau. Cela se justifie par la charge thermique importante de la toiture et en considérant que la salle d’étage courant et du RDC ont des bonus. De ce fait la localisation de la salle de classe est résumée à sa localisation au niveau du plan.



<i>BLOC I : Bloc TD faculté des sciences et technologies</i>																
	<i>Forme</i>						<i>Ouvertures</i>								<i>Orientation</i>	
	<b>L (m)</b>	<b>P (m)</b>	<b>L/P</b>	<b>Pr</b>	<b>MI</b>	<b>Mpo</b>	<b>Sp (m²)</b>	<b>So (m²)</b>	<b>So/Sp</b>	<b>% O</b>	<b>Hmf (m)</b>	<b>Ho (m)</b>	<b>Ha (m)</b>	<b>Pos</b>	<b>Or</b>	
<b>S1</b>	7.20	10.65	0.68	2/3	4	2	76.68	16.32	0.21	21.28	3.74	1.70	1.00	Moyenne	Ouest	
<b>S2</b>	7.20	10.65	0.68	2/3	4	2	76.68	16.32	0.21	21.28	3.74	1.70	1.00	Moyenne	Ouest	
<b>S3</b>	7.20	10.65	0.68	2/3	3	2	76.68	14.96	0.20	19.51	3.74	1.70	1.00	Moyenne	Ouest	
<b>S4</b>	7.20	10.65	0.68	2/3	3	2	76.68	14.96	0.20	19.51	3.74	1.70	1.00	Moyenne	Ouest	
<b>S5</b>	7.20	10.65	0.68	2/3	4	2	76.68	16.32	0.21	21.28	3.74	1.70	1.00	Moyenne	Ouest	
<b>S6</b>	7.20	10.65	0.68	2/3	3	2	76.68	16.32	0.21	21.28	3.74	1.70	1.00	Moyenne	Ouest	
<b>S7</b>	7.20	11.35	0.63	2/3	3	2	81.72	12.24	0.15	14.98	3.74	1.70	1.00	Moyenne	Ouest	
<b>S8</b>	7.20	10.65	0.68	2/3	4	2	76.68	16.32	0.21	21.28	3.74	1.70	1.00	Moyenne	Nord	
<b>S9</b>	7.20	10.65	0.68	2/3	4	2	76.68	16.32	0.21	21.28	3.74	1.70	1.00	Moyenne	Nord	
<b>S10</b>	7.20	10.65	0.68	2/3	4	2	76.68	16.32	0.21	21.28	3.74	1.70	1.00	Moyenne	Nord	
<b>S11</b>	7.20	10.65	0.68	2/3	4	2	76.68	16.32	0.21	21.28	3.74	1.70	1.00	Moyenne	Nord	
<b>S12</b>	7.20	10.65	0.68	2/3	4	2	76.68	16.32	0.21	21.28	3.74	1.70	1.00	Moyenne	Nord	
<b>S13</b>	7.20	10.65	0.68	2/3	4	2	76.68	16.32	0.21	21.28	3.74	1.70	1.00	Moyenne	Nord	
<b>S14</b>	7.20	10.65	0.68	2/3	4	2	76.68	16.32	0.21	21.28	3.74	1.70	1.00	Moyenne	Nord	
<b>S15</b>	7.20	10.65	0.68	2/3	4	2	76.68	16.32	0.21	21.28	3.74	1.70	1.00	Moyenne	Nord	

Dont : **L** : Largeur - **P** : Profondeur - **L/P** : Largeur / Profondeur - **Pr** : Proportion - **MI** : Nombre de murs libres - **Mpo** : Nombre de murs pourvus d'ouvertures - **Sp** : Surface du plancher - **So** : Surface ouvertures - **So/Sp** : Surface ouvertures / Surface plancher - **% O** : Pourcentage des ouvertures - **Hmf** : Hauteur du mur de la façade - **Ho** : Hauteur des ouvertures - **Ha** : Hauteur d'allège - **Pos** : Position des ouvertures dans le mur de façade principale - **Or** : Orientation de la façade principale

Tableau VI. 2 : Tableau récapitulatif des critères de l'analyse typologique des salles de classe du bloc I  
(Source : Auteur)

**VI.1.2.3 Codification des critères d'analyse :**

Dans cette étape, les données correspondant à chaque critère d'analyse seront classifiées dans des groupes dont chacun aura un code particulier. Cette opération permet de faciliter la tâche de déduction des typologies des salles de classe et des blocs d'enseignement. La codification se résume dans le tableau suivant :

<b>Proportion de la salle de classe<sup>1</sup></b>	Proportion 1/3	Proportion 2/3	Proportion 3/4	Proportion 1/1
	<b>01</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	<b>04</b>
<b>Localisation de la salle de classe</b>	(01) façade libre	(02) façades libres	(03) façades libres	(04) façades libres
	<b>01</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	<b>04</b>
<b>Nombre de murs pourvus d'ouvertures</b>	(01) mur	(02) murs	(03) murs	(04) murs
	<b>01</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	<b>04</b>
<b>Pourcentages des ouvertures</b>	Salles dont 15% < Rapport > 30%		Salles dont Rapport > 30%	Salles dont Rapport < 15%
	<b>01</b>		<b>02</b>	<b>03</b>
<b>Position des ouvertures sur le mur de la façade</b>	Basse	Moyenne	Haute	hybride
	<b>01</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	<b>04</b>
<b>Orientation des façades</b>	Nord	Sud	Est	Ouest
	<b>01</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	<b>04</b>

Tableau VI. 3 : Codification des paramètres de l'analyse typologique des salles de classe (Source : Auteur)

<sup>1</sup> Les valeurs de proportion des salles de classes sont déduites après le calcul des proportions de toutes les salles de l'échantillon d'étude.

VI.1.2.4 Typologies obtenues :

	<i>Typologies</i>	<i>Proportion</i>	<i>Localisation</i>	<i>Murs pourvus d'ouvertures</i>	<i>Pourcentage des ouvertures</i>	<i>Position des ouvertures</i>	<i>Orientation principale</i>
BI	T(I-1) : S1-1, S1-2, S1-5	2	4	2	1	2	4
	T(I-2) : S1-3, S1-4, S1-6, S1-7	2	3	2	1	2	4
	T(I-3) : S1-8, S1-9, S1-10, S1-11, S1-12, S1-13, S1-14, S1-15	2	4	2	1	2	1
BII	T(II-1) : S2-1, S2-6, S2-9, S2-10	2	1	1	3	2	4
	T(II-2) : S2-2, S2-5	2	2	1	3	2	4
	T(II-3) : S2-3, S2-4, S2-7, S2-8, S2-11, S2-12	2	2	1	3	2	3
BIII	T(III-1) : S3-1, S3-5, S3-9	3	2	1	3	2	1
	T(III-2) : S3-2, S3-6, S3-10	3	2	1	3	2	2
	T(III-3) : S3-3, S3-7, S3-11	3	3	1	3	2	1
	T(III-4) : S3-4, S3-8, S3-12	3	3	1	3	2	2
BIV	T(IV-1) : S4-1, S4-4	3	2	2	1	3	1
	T(IV-2) : S4-2, S4-3	3	1	2	1	3	1
	T(IV-3) : S4-5, S4-8	3	2	2	1	3	2
	T(IV-4) : S4-6, S4-7	3	1	2	1	3	2
BV	T(V-1) : S5-1	4	1	1	3	4	1
	T(V-2) : S5-2	4	2	1	3	4	1
	T(V-3) : S5-3, S5-4	4	2	1	3	4	2
BVI	T(VI-1) : S6-1	1	1	1	3	2	1
	T(VI-2) : S6-2	1	2	2	3	2	1
	T(VI-3) : S6-3	1	1	1	3	2	2
	T(VI-4) : S6-4	2	1	1	3	2	2

Tableau VI. 4 : Tableau récapitulatif des typologies obtenues (Source : Auteur)

## **VI.2 Les méthodes et les techniques de recherche utilisées :**

La sensation d'un confort hygrothermique à l'intérieur des espaces ne correspond seulement à celle du froid et de chaleur, d'humide ou du sec (aspect quantitatif), mais, elle englobe aussi la perception personnelle des usagers envers la qualité hygrothermique de l'espace (l'aspect qualitatif).

Le confort hygrothermique présente, donc, deux aspects :

- L'aspect objectif ou le confort calculé ;
- L'aspect subjectif ou le confort perçu.

De cette logique et dans le but d'atteindre nos objectifs, nous avons choisi deux méthodes d'évaluation à savoir : la méthode expérimentale (quantitative) et la méthode d'enquête (qualitative). L'application de ces méthodes est obtenue par l'utilisation des techniques suivantes : l'expérimentation simulée « qui est une technique d'expérimentation informatisée à l'aide des modèles simplifiés » (Farhi, 2010) par l'utilisation d'un instrument « logiciel de simulation ECOTECT® » et le questionnaire auto-administré ; une technique directe utilisant l'instrument « formulaire de questions ».

### **VI.2.1 La technique du questionnaire :**

#### **VI.2.1.1 Pourquoi utiliser cette technique en évaluation ?**

*« L'enquête n'est pas une simple exécution d'un protocole (l'administration d'un questionnaire par exemple), elle se rapproche plus d'un processus dialectique entre une problématique théorique et un terrain de recherche » (Schweyer, 2000).*

Le questionnaire d'enquête est le principal véhicule de communication entre les chercheurs et les enquêtés (Bilocq, non daté), il nous permet la collecte méthodique d'informations dans le cadre d'une enquête. Dans notre cas, cette technique nous aide à recueillir les opinions, le comportement, les réactions et les interactions des usagers vis-à-vis de leur environnement hygrothermique. Le questionnaire a été administré à un groupe d'étudiants qui occupent les différentes salles de classes représentant les typologies obtenues à partir de l'analyse typologique abordée précédemment.

#### **VI.2.1.2 Structure du formulaire des questions :**

Le questionnaire a suivi les normes méthodologiques en matière de réalisation d'enquête. Les questions sont issues à partir de deux sources principales : de la littérature concernant le thème du confort hygrothermique et de questionnaires de quelques études ayant porté

sur le même sujet. Le recours à ces études est dans le but de tirer un maximum d'information et de profiter de l'expérience acquise qu'elle soit bonne ou mauvaise (Bilocq, non daté).

Les questions de l'enquête portent sur :

- La sensation thermique (chaud, froid) ;
- Le jugement thermique (confortable, inconfortable, acceptable, inacceptable) ;
- Les préférences thermiques (plus chaud, plus froid) (voir annexe C).

La sensation thermique s'exprime sur une échelle de sept (07) positions allant de -3 (très froid) à +3 (très chaud). Cette notation est issue de l'échelle Fanger utilisée pour caractériser la sensation thermique dans la norme de l'ASHRAE-55. Le jugement du confort hygrothermique est évalué sur une échelle de quatre (04) points (acceptable, légèrement acceptable, inacceptable, très inacceptable). Quant à la préférence, l'évaluation est menée sur une échelle de sept (07) points du -3 (Beaucoup plus froid) à +3 (Beaucoup plus chaud).

Les questions choisies sont des questions fermées (questions fermées dichotomiques, questions fermées à choix multiples) ; les personnes interrogées doivent choisir une ou plusieurs réponses formulées à l'avance. Le choix de cette catégorie de questions est lié à ses avantages ; facilité de la compréhension de la question, facilité de l'expression de la réponse et son sens fixe.

Il faut noter que les questions ouvertes sont plus riches, mais, elles sont plus difficiles à traiter statiquement.

Comme dans toute enquête, les personnes interrogées vont avoir tendance à répondre à leurs attentes par rapport aux questions, et non aux faits. Cela montre la limite de la méthode et l'utilité de l'accompagner aux résultats de simulation. Néanmoins, l'enquête permet de révéler ce que le logiciel de simulation ne pourra pas apporter.

### **VI.2.1.3 Passation du questionnaire :**

Une fois le formulaire de questions est rédigé, il est reproduit en nombre nécessaire d'exemplaires, la collecte de l'information est organisée selon un planning et à l'aide de moyens techniques nécessaires (plans codifiés, appareil photo) et de personnel (un groupe nécessaire à la passation des formulaires de questions). L'enquête s'est déroulée sur une période continue allant du 12 au 15 mai 2013. La durée de l'enquête s'étale de 11h00 jusqu'à 15h00.

L'échantillon choisi est constitué de 189 étudiants occupant les 21 salles de classe qui représentent les 21 typologies résultant de l'analyse typologique. Donc, neuf (09) formulaires de questions ont été distribués dans chacune des salles de classe objet de notre enquête comme l'explique la figure qui suit.

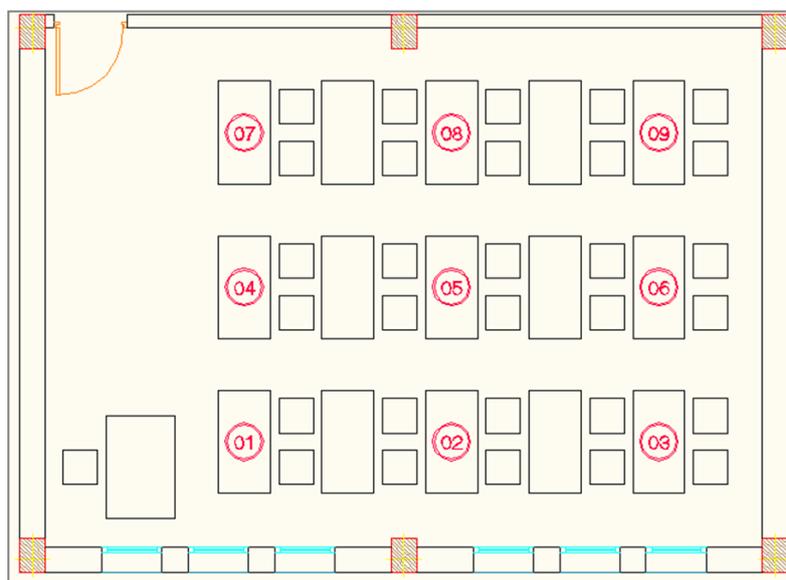


Fig VI. 9 : Schéma de distribution des formulaires de questions dans une salle de classe  
(Source : Auteur)

#### VI.2.1.4 Codage et traitement des données du questionnaire :

Après la récupération de tous les formulaires et leur vérification, un système de codage est effectué pour ceux qui sont complets ou jugés valides. Ce système de codage est effectué pour faciliter la saisie des données collectées afin de constituer un fichier informatique unique, à partir duquel seront effectués les traitements statistiques. Un code a été attribué à chaque modalité de réponse (le codage est détaillé dans l'annexe C).

Le but, donc, est de quantifier les réponses pour pouvoir effectuer des calculs statistiques qui permettent d'analyser le lien entre les variables et chercher à leur donner un sens.

« *La statistique descriptive a pour but de transformer, résumer, condenser les données en des valeurs qui ont du sens. Les données brutes ne sont jamais lisibles directement, il convient donc de les transformer pour les exprimer dans des valeurs qui soient parlantes pour la communauté* » (Putois, 2009).

Pour effectuer ces traitements statistiques, nous avons choisi le logiciel Statistica ; un logiciel statistique graphique, interactif, complet, rapide et efficace.

## VI.2.2 La technique de simulation :

Apparues pendant les années soixante, les techniques de simulation de la performance du bâtiment constituent aujourd'hui des outils incontournables dans le champ de la recherche et la conception architecturale. Grâce aux avancements informatiques et à la conscience environnementale croissante, le recours aux logiciels de simulations est aujourd'hui un devoir plus qu'une nécessité (Hong, 2000 cité par Montenegro Iturra, 2011).

L'état physique d'un bâtiment est le résultat de l'interaction complexe d'un ensemble très large d'éléments physiques. La capacité des logiciels à faire face à la complexité de ces interactions a déterminé la reconnaissance de leur rôle unique dans la prédiction, l'évaluation et vérification de la performance des bâtiments (Augenbroe, 2004). Ce type de recherche par simulations est aussi envisagé en raison de son coût moins dispendieux par rapport à la recherche à échelle réelle (Jameson, 2003). Les logiciels de simulation ont été aussi reconnus comme des outils très utiles dans les premières phases du design, en raison de leur flexibilité et possibilité de modifier et raffiner les modèles (Montenegro Iturra, 2011).

### VI.2.2.1 Le choix d'outil de simulation « ECOTECT® » :

C'est un outil de simulation qui combine une interface de modélisation 3D très visuelle et interactive avec une vaste gamme de fonctions d'analyse solaire, thermique, visuelle, acoustique et de coûts. ECOTECT® est un outil dont l'analyse est simple donnant des résultats relativement précis et visuellement efficaces. Entièrement conçu par des architectes et grâce à son interface très visuelle, ECOTECT® se présente comme un outil parfait pour communiquer avec les architectes et les concepteurs. Il a été conçu sur la base du principe que la conception environnementale la plus efficace soit validée dès les premières phases de conception au moment où des décisions simples peuvent avoir des répercussions profondes sur les performances du projet final.

Le logiciel répond à ce but en fournissant la rétroaction (feedback) visuelle et analytique, guidant progressivement le processus de conception. « *Le but est de permettre aux concepteurs d'adopter une approche holistique au processus de conception du bâtiment facilitant ainsi de créer des bâtiments énergétiquement efficaces* » (Crawley, 2005).

ECOTECT® se caractérise, aussi, par une prise en main assez rapide. Son interface 3D intuitive permet la conception des modèles allant de simples croquis jusqu'aux des modèles plus complexes. Ses résultats d'analyse peuvent être montrés directement sur les

surfaces du bâtiment ou dans les espaces concernées par l'analyse, donnant au concepteur la meilleure possibilité de comprendre les performances du bâtiment et, donc, apporter les vraies améliorations conceptuelles. Ses sorties étendues rendent également la validation finale de conception beaucoup plus simple en se connectant par interface à Radiance, EnergyPlus et à beaucoup d'autres outils plus spécialisés.

Pour Schlueter (2009), ECOTECT<sup>®</sup> est un outil visant les premières phases de la conception, où un degré élevé de précision n'est pas encore nécessaire. On requiert uniquement une connaissance des tendances et des conséquences de chaque décision de conception (Montenegro Iturra, 2011).

#### **VI.2.2.2 Etapes du travail par ECOTECT<sup>®</sup> :**

Les étapes du travail de simulation via le logiciel ECOTECT<sup>®</sup> sont : la préparation, le dessin et l'analyse.

- **Préparation :**

- Télécharger les données climatiques de la région ;
- Donner un nom au dessin ;
- Fixer le type du bâtiment étudié ;
- Fixer l'environnement du bâtiment (urbain, rural, etc.).

- **Dessin :**

- Fixer le Nord ;
- Fixer la hauteur des espaces ;
- Choisir les matériaux de construction de chaque élément ;
- Définir les différentes propriétés de chaque zone (données générales, propriétés thermiques) ;
- Nous pouvons, aussi, désactiver le calcul des données thermiques pour les zones non concernées par l'étude.

- **Analyse :**

- Définir le paramètre à mesurer (température, gains thermique, etc.) ;
- Définir la période et l'heure d'étude ;
- Lancer l'analyse. (Voir aussi annexe D).

### VI.2.2.3 Plan d'expérimentation par simulation :

Dans le but d'atteindre nos objectifs et vérifier nos hypothèses, un plan d'expérimentation par simulation, composé de quatre (04) séries de simulations, a été structuré. Chacune de ces séries aura l'objectif de vérification de l'une des hypothèses du travail rappelées ci-dessous.

- **Hypothèse principale :**

Il semble que la forme architecturale des bâtiments d'enseignement supérieur est un élément déterminant qui influence sur le confort hygrothermique des étudiants.

- **Hypothèses secondaires :**

- L'orientation des bâtiments d'enseignement supérieur, selon le climat, constitue un élément important qui peut influencer positivement ou négativement sur le confort hygrothermique des étudiants ;

- De tous les composants de l'enveloppe du bâtiment, les ouvertures sont l'élément plus critique en raison de leur complexité. Selon leur conception et leurs dimensions, elles influencent le confort hygrothermique des étudiants dans bâtiments d'enseignement supérieur ;

- Les protections solaires dans un bâtiment, selon leur conception et leurs dimensions, jouent un rôle complémentaire par le fait qu'elles permettent ou bien empêchent, selon les périodes, la pénétration des rayons solaires directs. Donc, elle participe au maintien du confort hygrothermique des étudiants dans les bâtiments d'enseignement supérieur.

L'objectif de cette expérimentation est d'explorer un nombre de typologies des salles de classe dans le but d'évaluer leur comportement et leur efficacité en matière du confort hygrothermique.

Des séries de simulations seront effectuées, elles visent à évaluer l'impact de chacune des quatre (04) variables étudiées (forme, ouvertures, orientation et protections solaires) sur les niveaux du confort hygrothermique des typologies sélectionnées des salles de classe et des blocs d'enseignement.

L'étude de l'impact de chacune de quatre (04) variables est structurée comme démontre le schéma suivant :

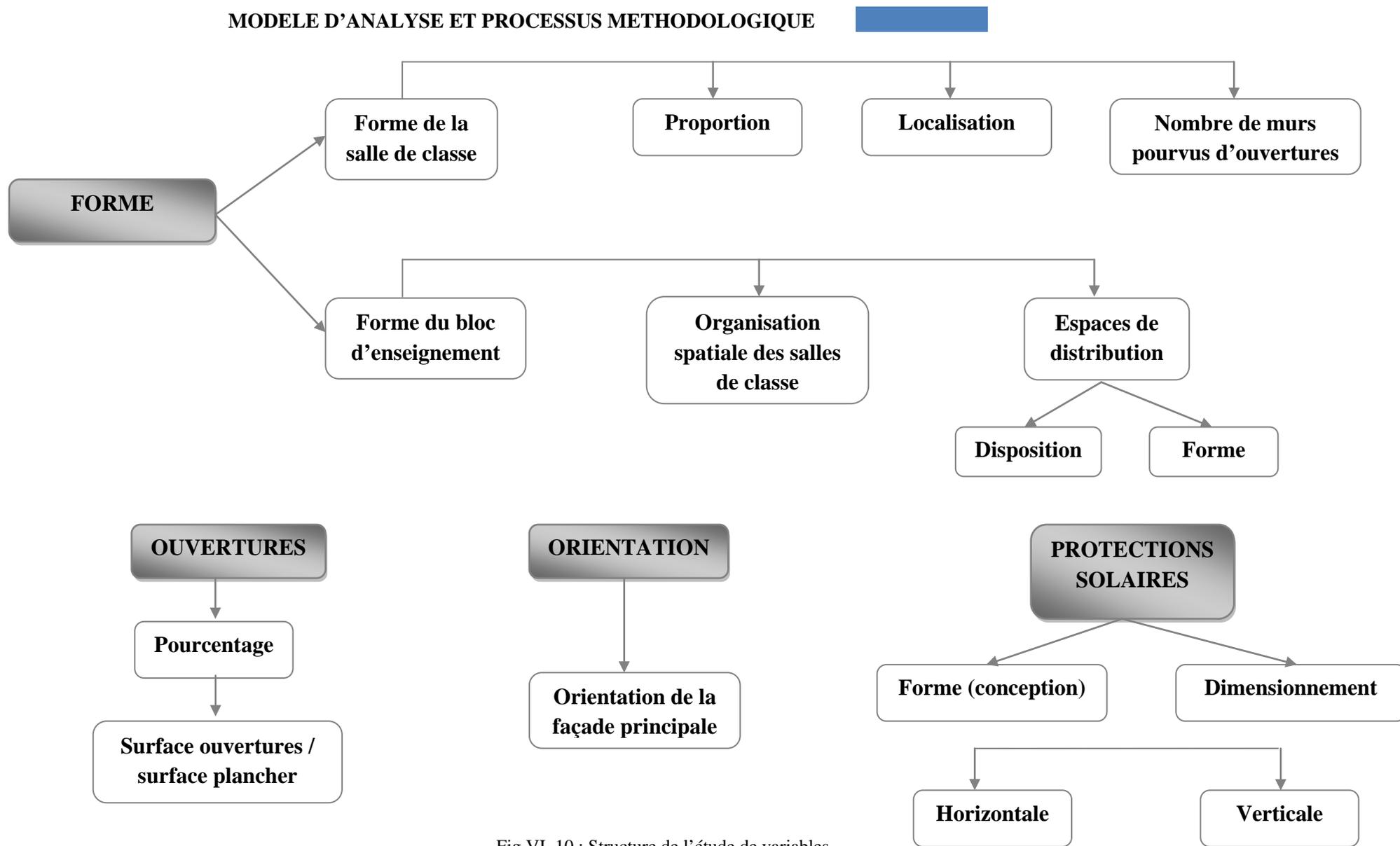


Fig VI. 10 : Structure de l'étude de variables  
(Source : Auteur)

- Séries de simulation :

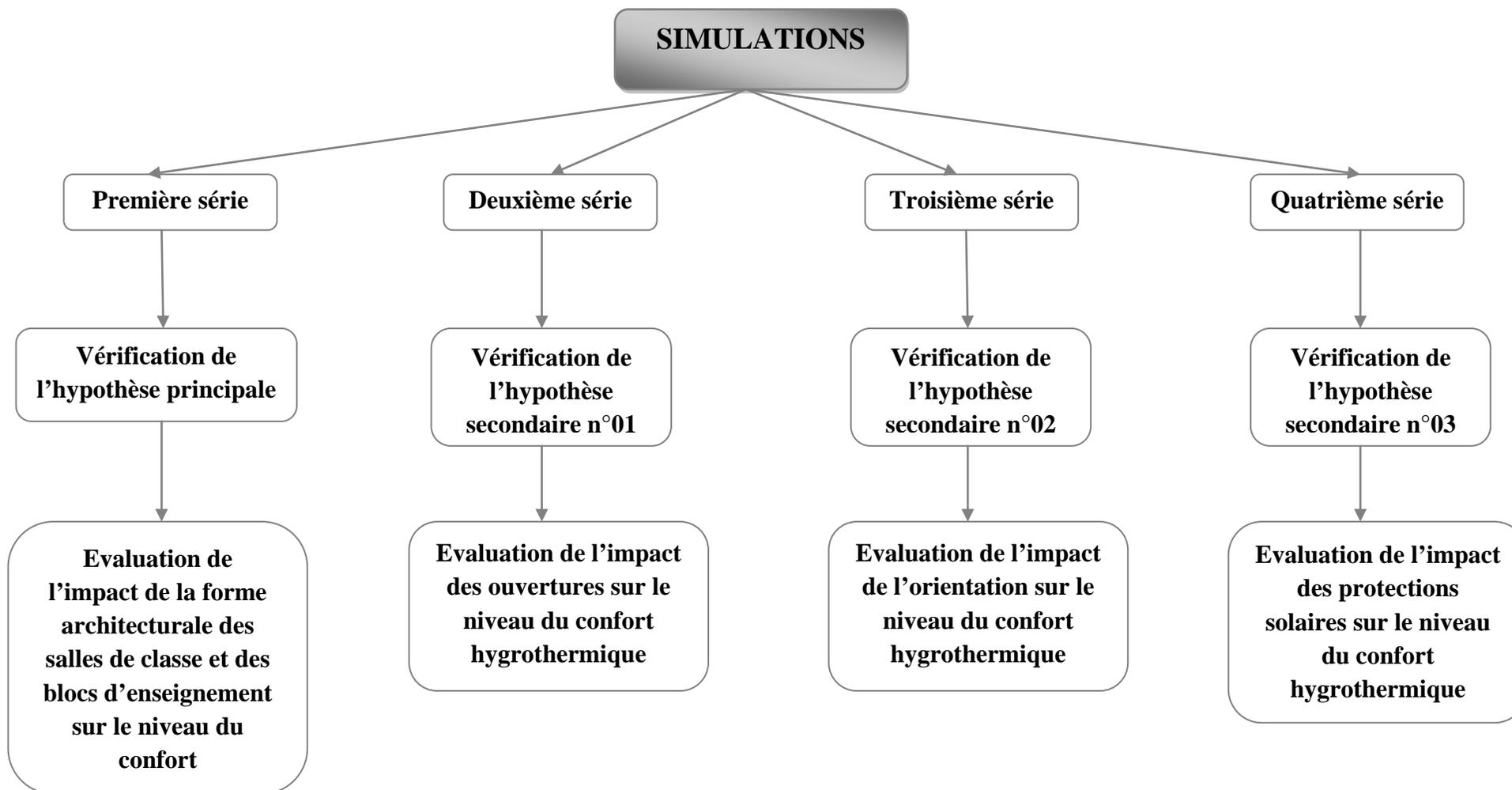


Fig VI. 10 : Schéma explicatif de la structure des séries de simulations  
(Source : Auteur)

- La première série de simulations :

a- La première partie de simulations (sur les salles de classe) :

Paramètres	Simulations	Echantillon
Proportion de la salle de classe	Comparaison entre les typologies dont les proportions sont dissemblables.	- [T(VI-3), T(VI-4)] : (S6-3, S6-4)
Localisation de la salle de classe	Comparaison entre les typologies dont les localisations sont dissemblables.	- [T(I-1), T(I-2)] : [(S1-1, S1-2, S1-5), (S1-3, S1-4, S1-6, S1-7)] - [T(II-1), T(II-2)] : [(S2-1, S2-6, S2-9, S2-10), (S2-2, S2-5)] - [T(III-1), T(III-3)] : [(S3-1, S3-5, S3-9), (S3-3, S3-7, S3-11)] - [T(III-2), T(III-4)] : [(S3-2, S3-6, S3-10), (S3-4, S3-8, S3-12)] - [T(IV-1), T(IV-2)] : [(S4-1, S4-4), (S4-2, S4-3)] - (T(IV-3), T(IV-4)) : [(S4-5, S4-8), (S4-6, S4-7)] - [T(V-1), T(V-2)] : [(S5-1), (S5-2)]
Nombre de murs pourvus d'ouverture	Comparaison entre les typologies dont le nombre des murs pourvus d'ouvertures est dissemblable. <b>N.B</b> : <u>les deux groupes choisis pour la comparaison se différencient, en plus de nombre des murs pourvus d'ouvertures, par la localisation</u>	- [T(VI-1), T(VI-2)] : [(S6-1), (S6-2)]

Tableau VI. 5 : Explication de la première partie de la première série de simulations  
 (Source : Auteur)



**b- La deuxième partie de simulations (sur les blocs d'enseignement) :**

Paramètres	Simulations	Echantillon
<p><b>Typologie du bloc d'enseignement</b></p>	<p>Comparaison entre des typologies différentes en se basant sur l'organisation de salles de classe, la forme et la disposition des espaces de distribution</p>	<p>- (BI / BIV / BVI) : [T(I-1) / T(IV-1), T(IV-2), T(IV-3), T(IV-4) / T(VI-1), T(VI-2), T(VI-3), T(VI-4)] : [(S1-8, S1-9, S1-10, S1-11) / (S4-1, S4-2, S4-5, S4-6) / (S6-1, S6-2, S6-3, S6-4)]</p>

Tableau VI. 6 : Explication de la deuxième partie de la première série de simulations  
(Source : Auteur)

- Deuxième série de simulations :

Paramètres	Simulations	Echantillon
<p><b>Pourcentage des ouvertures</b></p>	<p>Comparaison entre les typologies qui présentent une dissemblance dans le rapport « surface ouvertures / surface plancher »</p> <p><b>N.B :</b> <u>les groupes choisis pour la comparaison se différencient, en plus du pourcentage d'ouvertures, soit par la localisation, la proportion, le nombre des murs pourvus d'ouvertures, la position des ouvertures sur le mur de la façade.</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- [T(I-3), T(VI-2)] : [(S1-8, S1-9, S1-10, S1-11, S1-12, S1-13, S1-14, S1-15), (G6-2)]</li> <li>- [T(I-1), T(II-1)] : [(S1-1, S1-2, S1-3, S1-4, S1-5, S1-6), (S2-1, S2-6, S2-9, S2-10)]</li> <li>- [T(I-1), T(II-2)] : [(S1-1, S1-2, S1-3, S1-4, S1-5, S1-6), (S2-2, S2-5)]</li> <li>- [T(I-2), T(II-1)] : [(S1-3, S1-4, S1-6, S1-7), (S2-1, S2-6, S2-9, S2-10)]</li> <li>- [T(I-2), T(II-2)] : [(S1-3, S1-4, S1-6, S1-7), (S2-2, S2-5)]</li> <li>- [T(III-1), T(IV-1)] : [(S3-1, S3-5, S3-9), (S4-1, S4-4)]</li> <li>- [T(III-2), T(IV-3)] : [(S3-2, S3-6, S3-10), (S4-5, S4-8)]</li> <li>- [T(IV-1), T(VI-1)] : [(S4-1, S4-4), (S6-1)]</li> </ul>

Tableau VI. 7 : Explication de la deuxième série de simulations  
(Source : Auteur)

- Troisième série de simulations :

Paramètres	Simulations	Echantillon
<p><b>Orientation de la façade principale</b></p>	<p>Comparaison entre les typologies dont l'orientation de la façade principale est dissemblable</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- [T(I-1), T(I-3)] : [(S1-1, S1-2, S1-5), (S1-8, S1-9, S1-10, S1-11, S1-12, S1-13, S1-14, S1-15)]</li> <li>- [T(II-1), T(VI-4)] : [(S2-1, S2-6, S2-9, S2-10), (S6-4)]</li> <li>- [T(II-2), T(II-3)] : [(S2-2, S2-5), (S2-3, S2-4, S2-7, S2-8, S2-11, S2-12)]</li> <li>- [T(III-1), T(III-2)] : [(S3-1, S3-5, S3-9), (S3-2, S3-6, S3-10)]</li> <li>- [T(III-3), T(III-4)] : [(S3-3, S3-7, S3-11), (S3-4, S3-8, S3-12)]</li> <li>- [T(IV-1), T(IV-3)] : [(S4-1, S4-4), (S4-5, S4-8)]</li> <li>- [T(IV-2), T(IV-4)] : [(S4-2, S4-3), (S4-6, S4-7)]</li> <li>- [T(V-1), T(V-3)] : [(S5-1), (S5-3, S5-4)]</li> <li>- [T(VI-1), T(VI-3)] : [(S6-1), (S6-3)]</li> </ul>

Tableau VI. 8 : Explication de la troisième série de simulations  
(Source : Auteur)



- Quatrième série de simulations :

Paramètres	Simulations	Echantillon
<b>Protections solaires</b>	Comparaison entre les différents éléments proposés de protection solaire au niveau de l'échantillon d'étude	Les 21 typologies des salles de classe

Tableau VI. 9 : Explication de la quatrième série de simulations  
(Source : Auteur)

## Conclusion :

Après avoir construit notre échantillon d'étude, une analyse typologique a été entretenue visant de synthétiser les typologies existantes des salles de classe et des blocs d'enseignement. Cette analyse est basée sur plusieurs critères pour arriver à la fin à un effectif de vingt et une (21) typologies pour les salles de classe et de trois (03) typologies pour les blocs d'enseignement.

Chacune des typologies conséquentes des salles de classe et ainsi des blocs d'enseignement, qui est le résultat de la conjugaison de plusieurs paramètres, se comporte d'une manière différente en matière du confort hygrothermique.

Ainsi, dans le but d'évaluer l'impact des quatre (04) variables étudiées (forme, ouvertures, orientation et protection solaire) sur le confort hygrothermique intérieur, un nombre de ces typologies sera utile.

Pour ce faire, le choix est opté pour deux méthodes d'évaluation, à savoir, la méthode expérimentale (méthode quantitative) et la méthode d'enquête (méthode qualitative). Dans la première, nous aurons recours à la technique de l'expérimentation simulée, par le biais du software « ECOTECT® ». Le questionnaire auto-administré est notre deuxième technique utilisée dans le cadre de la méthode d'enquête. Ces deux techniques sont jugées comme appropriées ainsi que complémentaires l'une à l'autre pour atteindre les fins de notre travail.

# **C**HAPITRE VII :

## EVALUATION DE L'ENSOLEILLEMENT

*« N'admettez rien a priori si vous  
pouvez le vérifier »*

Rudyard Kipling

## Introduction :

Pour évaluer le confort hygrothermique dans les différentes typologies des salles de classe et des blocs d'enseignement, il s'agit d'évaluer l'impact des différentes variables de leurs formes architecturales.

Ainsi, l'étude du confort hygrothermique indique d'aborder différents paramètres qui prennent part dans son évaluation à savoir : la température intérieure, l'humidité relative et la vitesse de l'air.

La température intérieure, qui présente un paramètre déterminant du niveau confort hygrothermique, est influencée largement par l'exposition de l'enveloppe du bâtiment aux radiations solaires. De ce fait, l'évaluation de ce dernier point paraît cruciale pour l'étude du confort hygrothermique.

Alors le présent chapitre s'est fixé l'objectif d'évaluer l'influence des différentes variables étudiées de la forme architecturale sur l'enseillement de l'enveloppe (durée d'exposition, durée d'ombrage, facteur d'ombrage) et la formation des taches solaires à l'intérieur ainsi que sur le niveau d'éclairage naturel (facteur de lumière du jour).

Les résultats présentés dans cette partie sont extraits à partir du logiciel de simulation Ecotect®V.2011. Ces résultats sont relatifs à la période chaude représentée par le solstice d'été le 21 juin. Cette période chaude est la plus critique pour le type du climat choisi (chaud et sec) ce qui justifie notre choix. Ainsi ces résultats s'intéressent de la durée d'occupation des salles de classe et des blocs d'enseignement (8h00 à 18h00).

## VII.1 Proportion de la salle de classe :

L'évaluation de l'impact de la proportion de la salle de classe est obtenue à partir d'une comparaison entre les deux typologies T(VI-3) et T(VI-4).

### VII.1.1 Ensoleillement des façades :

Les résultats présentés dans les figures ci-après nous montrent que les façades des deux salles de classe S6-3 et S6-4, orientées vers le Sud, sont exposées partiellement au rayonnement solaire direct pendant une durée de six (06) heures à partir de 9h00 jusqu'au 15h00. Cette exposition partielle est conséquente de la présence des éléments de brise soleil. Les deux façades sont, ainsi, ombragées pendant le reste de la durée d'occupation. Elles présentent, donc, un coefficient d'ombrage de 73%.

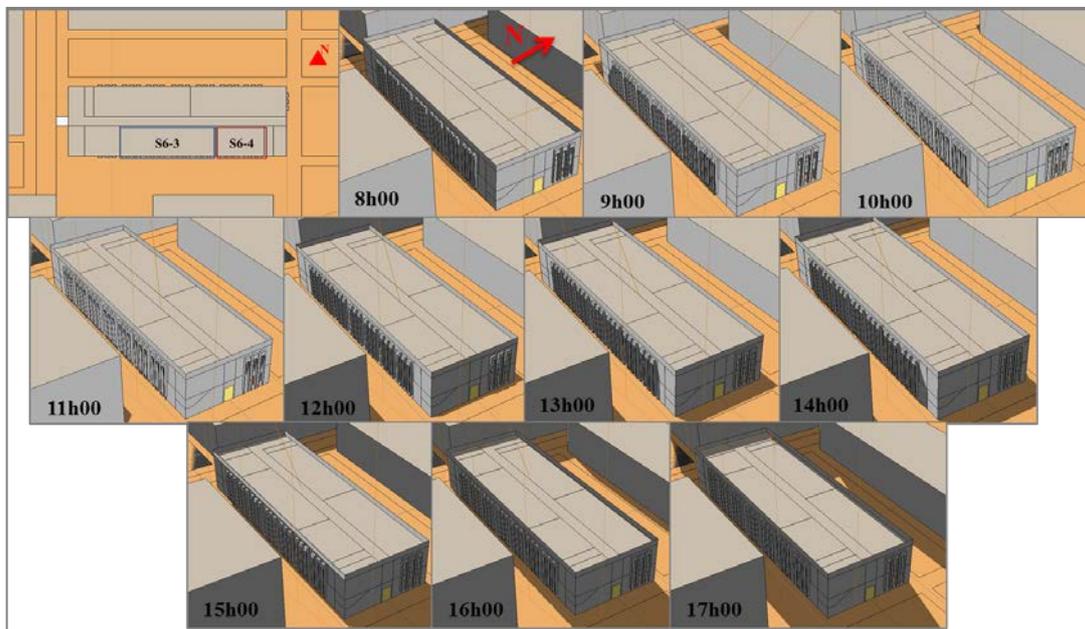


Fig VII. 1 : Ensoleillement des façades des salles de classe S6-3 et S6-4  
(Source : Auteur)

Quant aux toitures des deux salles, elles sont exposées au rayonnement solaire pendant toute la durée d'occupation.

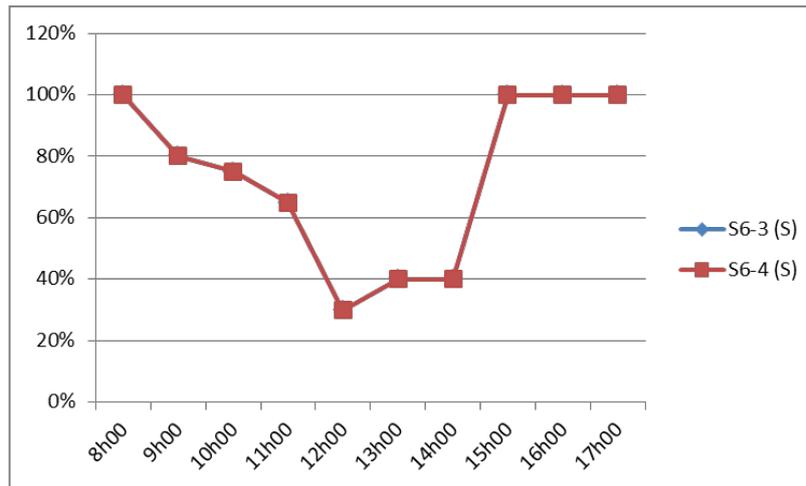


Fig VII. 2 : Facteur d'ombrage des façades Sud des salles de classe S6-3 et S6-4 (Source : Auteur)

Donc, la salle S6-3, par sa proportion, présente la plus grande surface exposée au rayonnement solaire direct (mur de façade et toiture).

### VII.1.2 Taches solaires à l'intérieur des salles de classe :

Les figures présentées ci-dessus nous montrent l'absence des taches solaires dans les deux salles de classe S6-3 et S6-4 malgré l'exposition des façades aux rayonnements solaires directs pendant une durée de six (06) heures.

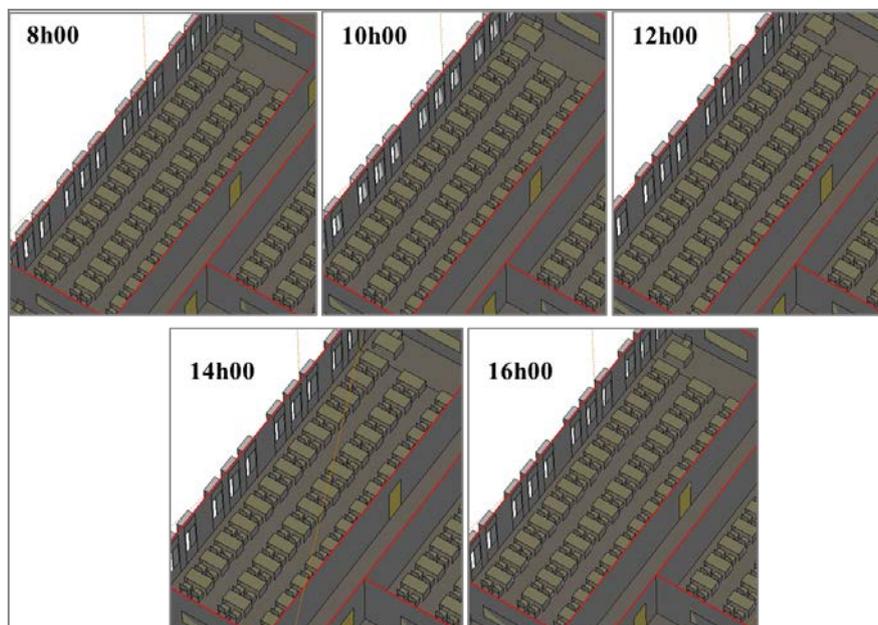


Fig VII. 3 : Répartition des taches solaires à l'intérieur de la salle de classe S6-3 (Source : Auteur)

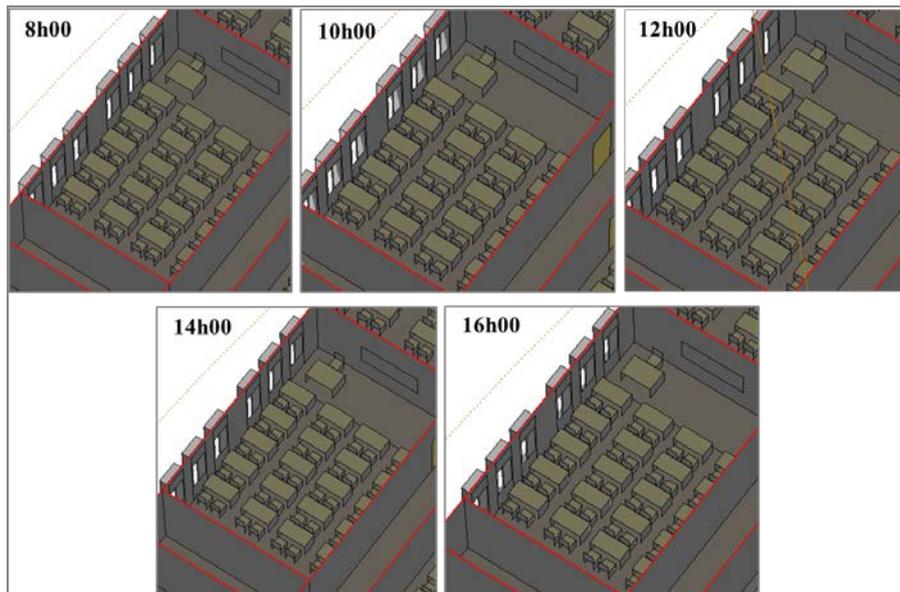


Fig VII. 4 : Répartition des taches solaires à l'intérieur de la salle de classe S6-4  
(Source : Auteur)

Ce résultat est expliqué par :

- La hauteur du soleil dans le ciel (altitude importante) ce qui permet la réflexion d'une quantité importante du rayonnement solaire incident ;
- Les brises soleil jouent, ici, leur rôle d'empêcher la pénétration des rayons solaires directs à travers les ouvertures.

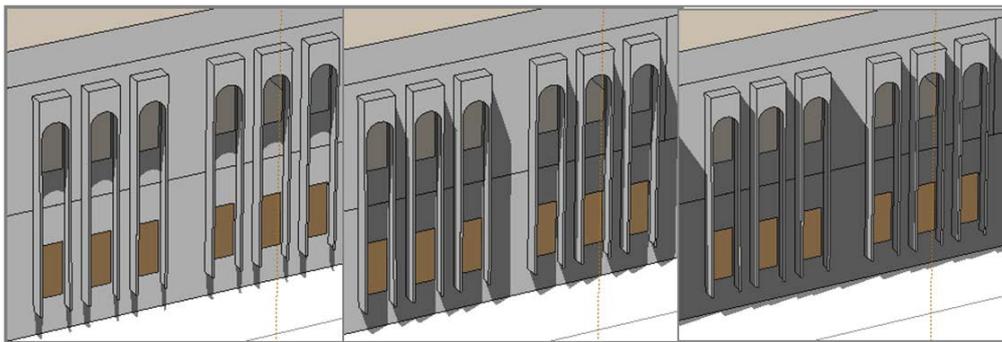


Fig VII. 5 : Ouvertures des deux salles de classe S6-3 et S6-4 ombragées par les brises soleil  
(Source : Auteur)

Cependant, dans le cas de l'absence des brises soleil, les rayons solaires pénètrent à l'intérieur des deux salles à travers les ouvertures formant, ainsi, des taches solaires.

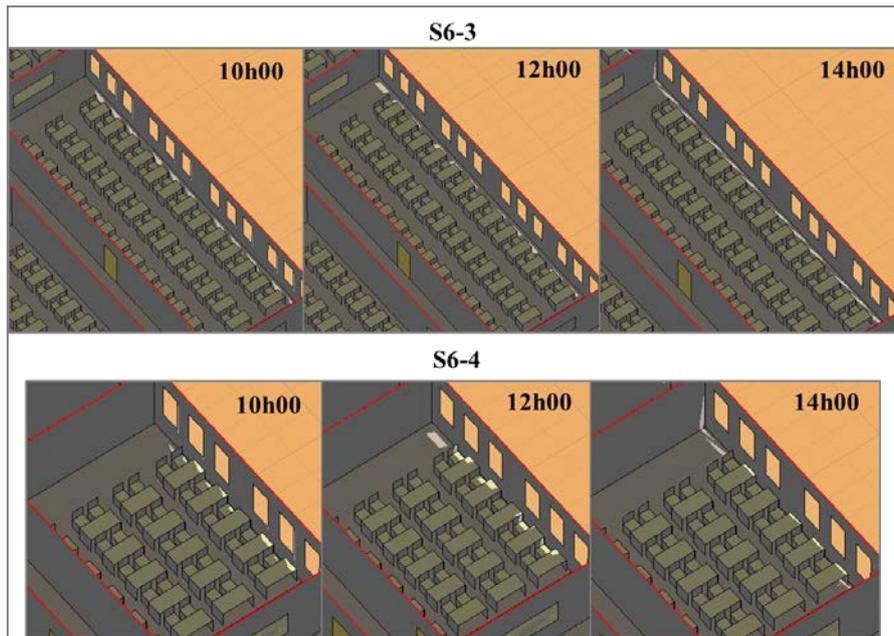


Fig VII. 6 : Répartition des taches solaires à l'intérieur de la salle de classe S6-4 en cas d'absence des brises soleil (Source : Auteur)

Ces taches solaires ont la même profondeur dans les deux salles de classe, mais, elles occupent plus de surface pour la salle S6-3.

### VII.1.3 Facteur de la lumière du jour (FLJ) :

La répartition du facteur de lumière du jour est calculée sur le niveau du plan du travail des étudiants. Les valeurs du facteur de lumière du jour recommandées pour les salles de classe sont de l'ordre de 2% comme valeur minimale et 5% comme valeur moyenne (Backer, 2002).

Le calcul du FLJ est inclus pour les paramètres : proportion, murs pourvus d'ouvertures et pourcentage d'ouvertures. Ce choix est dû à la limitation du logiciel Ecotect® qui recommande pour ce calcul le choix d'un ciel couvert. Donc, les valeurs du FLJ sont calculées indépendamment de l'orientation des ouvertures, du jour et de l'heure.

Pour les deux salles de classe S6-3 et S6-4, le facteur de lumière du jour est réparti d'une manière presque similaire, sa répartition divise chacune des deux salles en trois zones distinctes :

- Zone 01 qui couvre la partie proche des fenêtres (première rangée des tables) ; le FLJ est considéré comme élevé avec des valeurs de 6.6 – 10.6% ;
- Zone 02 présentant un FLJ modéré avec des valeurs de 2.6 – 4.6%, c'est la partie centrale des salles de classe (deuxième rangée des tables) ;
- Zone 03 qui détermine la partie la plus éloignée des fenêtres (troisième rangée des tables), elle est caractérisée par un faible FLJ avec des valeurs allant de 0.6 à 2.6%.

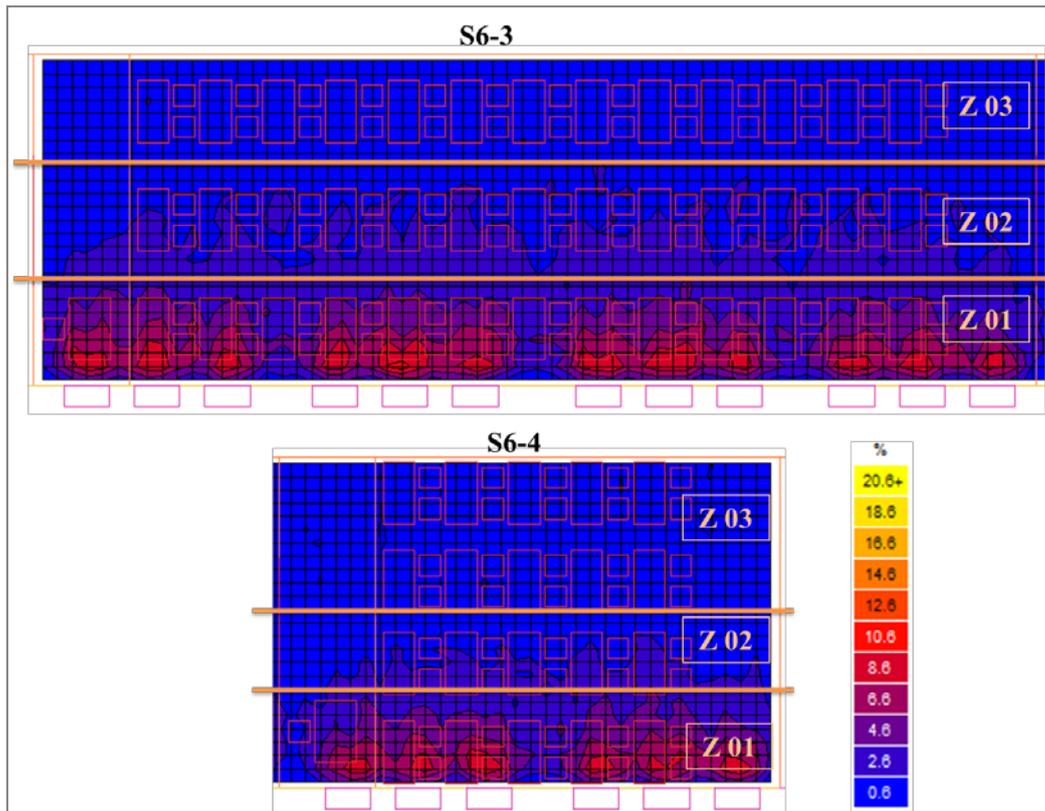


Fig VII. 7 : Répartition du facteur de lumière du jour FLJ à l'intérieur des salles de classe S6-3 et S6-4  
(Source : Auteur)

Ces résultats montrent, donc, une répartition hétérogène de la lumière naturelle dans les deux salles de classe (les moitiés Sud des salles sont plus claires que les moitiés Nord). Ainsi, un risque d'éblouissement se présente pour la première rangée des tables pour la salle S6-3 et pour la première et deuxième rangée pour la salle S6-4.

En outre, la similarité de la répartition du FLJ dans les deux salles, présentant des proportions différentes, est justifiée par le fait qu'elles représentent une même valeur du rapport « surface ouvertures / surface mur de façade » (19.70%).

Donc, nous pouvons déduire que la proportion de la salle de classe porte une influence évidente sur la quantité du rayonnement solaire reçu par les surfaces exposées (opaques et transparentes), la quantité de ce rayonnement qui pénètre à l'intérieur et, donc, la formation et l'importance des taches solaires. Ainsi, il a une influence sur la quantité de la lumière naturelle pénétrante à l'intérieur des salles de classe.

## VII.2 Localisation de la salle de classe :

Les deux typologies T(I-1) et T(I-2) sont choisies pour l'évaluation de l'impact de la localisation de la salle de classe.

### VII.2.1 Ensoleillement des façades :

A partir des résultats présentés dans les figures qui suivent, il est ressorti que :

- Les façades Ouest des deux salles de classe S1-1 et S1-4 sont ombragées pendant la matinée et ensoleillées l'après-midi, elles présentent un facteur d'ombrage de 41% ;
- Les façades Est des deux salles de classe sont ensoleillées à partir de 8h00 jusqu'à 11h00 et ombragée pour le reste de la durée d'occupation, leur facteur d'ombrage est de 63% ;

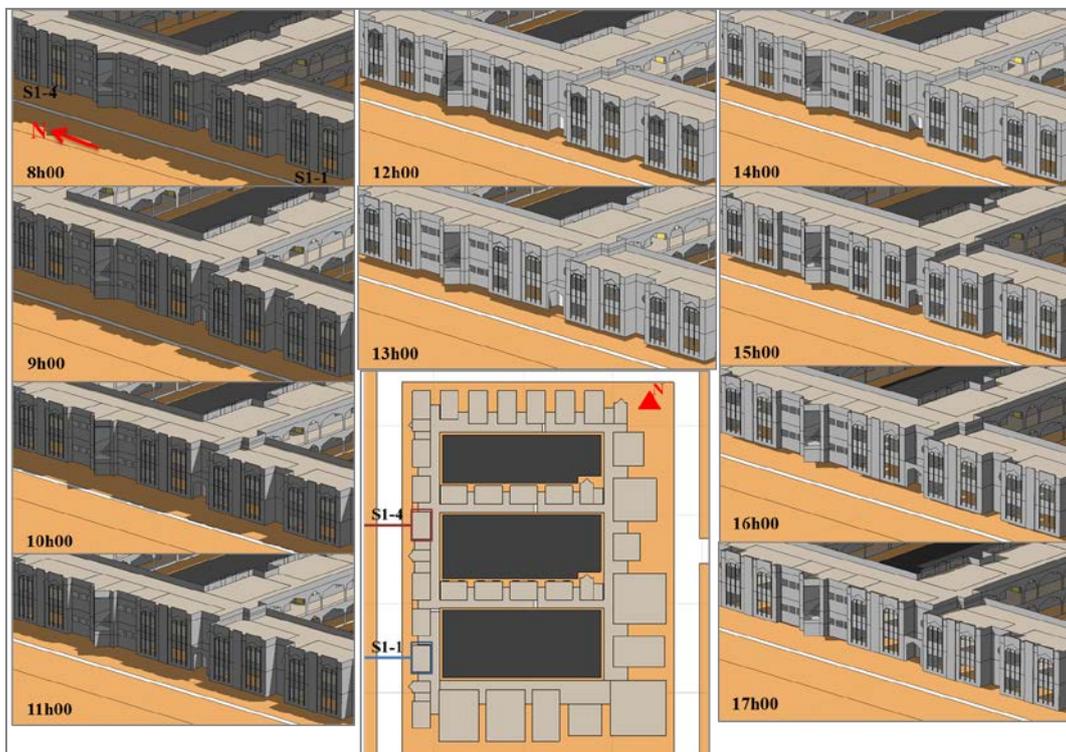


Fig VII. 8 : Ensoleillement des façades Ouest des salles de classe S1-1 et S1-4  
(Source : Auteur)

- Les façades Nord des deux salles de classe sont ensoleillées partiellement vers la fin de la durée d'occupation, elles présentent un facteur d'ombrage élevé (80%) ;
- De plus, la façade Sud de la salle S1-1 est ensoleillée partiellement de 9h00 jusqu'à 14h00, son facteur d'ombrage est de 64% ;
- Les toitures des deux salles de classe sont ensoleillées pendant toute la durée d'occupation.

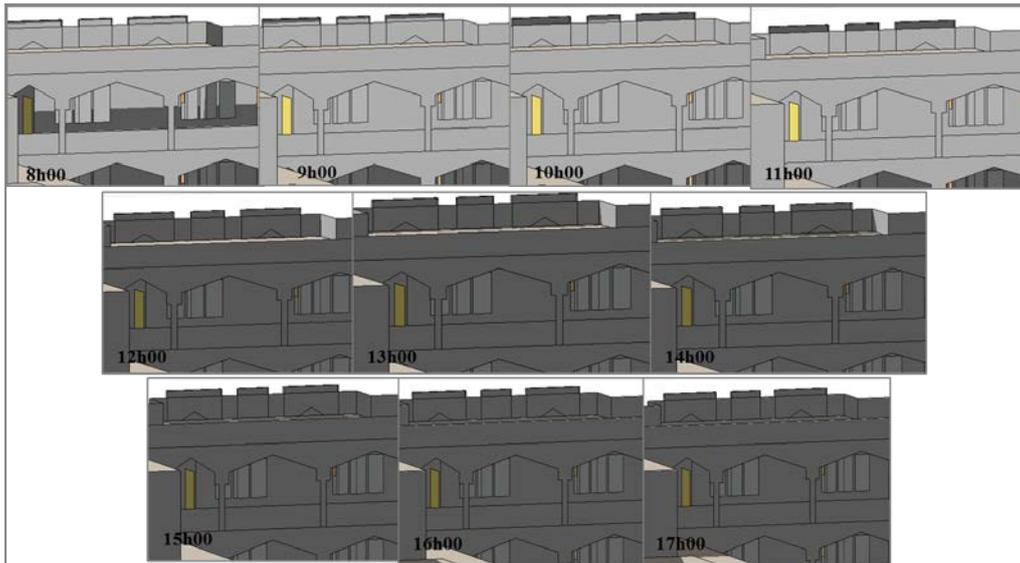


Fig VII. 9 : Ensoleillement des façades Est des salles de classe S1-1 et S1-4  
(Source : Auteur)

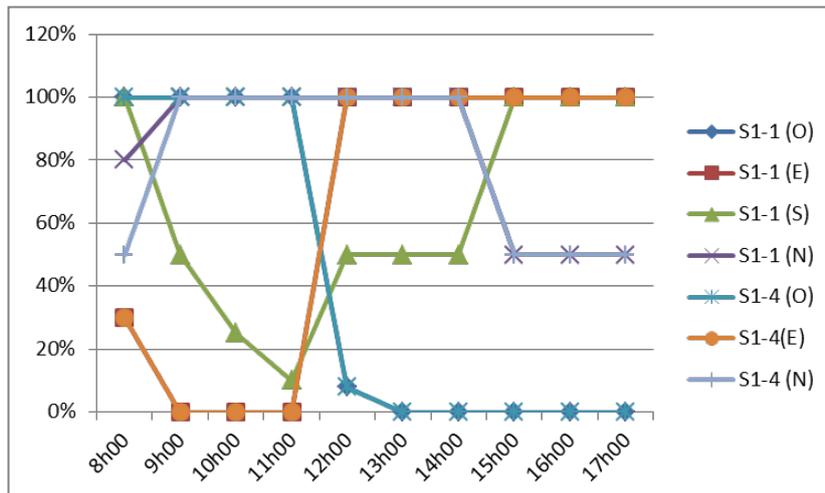


Fig VII. 10 : Facteur d'ombrage des façades des salles de classe S1-1 et S1-4  
(Source : Auteur)

Donc, les deux salles sont exposées au rayonnement solaire (qui atteint deux parois au minimum au même temps) pendant toute la durée d'occupation. Cependant, la salle S1-1 présente un pourcentage d'exposition plus élevé par rapport à la salle S1-4 du fait qu'elle possède une façade libre supplémentaire.

### VII.2.2 Taches solaires à l'intérieur des salles de classe :

Les conditions d'orientation donnent une tache solaire répartie d'une manière similaire, mais hétérogène, à l'intérieur des deux salles de classe S1-1 et S1-4. Ces taches solaires sont considérables à 8h00 sur le côté Est des deux salles de classe (gagnant les deux rangées 03 et 04) et à 16h00 sur le côté Ouest (gagnant les deux rangées 01 et 02). Cela est dû à la

faible altitude du soleil à ces moments (soleil bas dans le ciel) ce qui permet une pénétration profonde des rayons solaires. Les taches solaires sont moins importantes à 10h00 sur le côté Est (atteignant la rangée 04) et à 14h00 sur le côté Ouest (atteignant la rangée 01) et elles sont absentes à midi solaire.

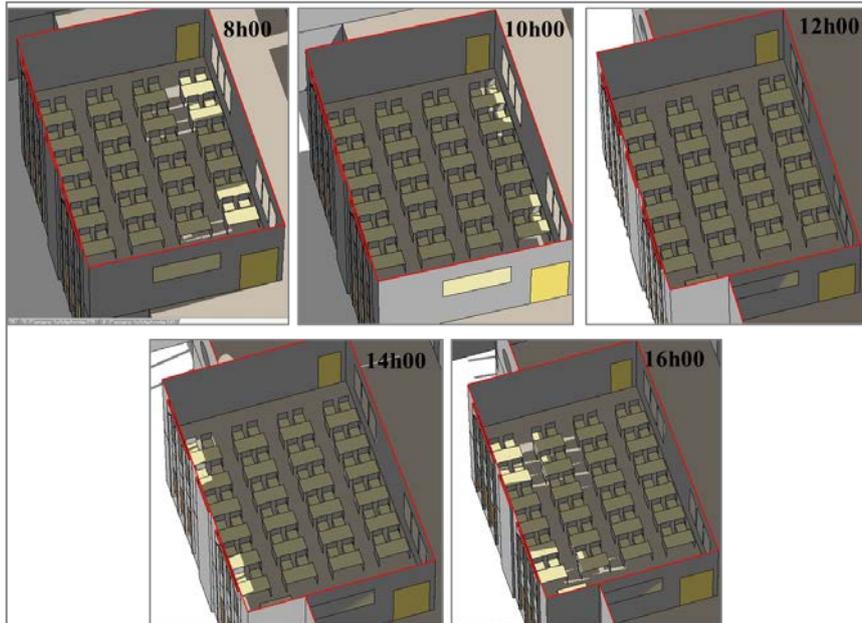


Fig VII. 11 : Répartition des taches solaires à l'intérieur des salles de classe S1-1 et S1-4  
(Source : Auteur)

Ainsi, cette pénétration présente l'inconvénient de pouvoir provoquer l'éblouissement à l'intérieur des salles et la gêne pour les étudiants touchés par les rayons solaires directs, ce qui peut déranger et perturber le bon déroulement des études.

Nous notons ici que les tables situées au milieu des rangées sont moins influencées par ces taches par rapport aux autres (position des ouvertures sur le mur de la façade).

Pour synthèse, la « localisation de la salle de classe » porte une influence sur le pourcentage d'exposition de la salle de classe au rayonnement solaire. Cependant, elle ne porte pas d'influence sur la répartition de la tache solaire à l'intérieur des salles de classe ainsi que sur la répartition de la lumière naturelle.

### VII.3 Nombre de murs pourvus d'ouvertures :

La comparaison entre les deux typologies T(VI-1) et T(VI-2) permet l'évaluation de l'impact du nombre de murs pourvus d'ouvertures.

#### VII.3.1 Ensoleillement des façades :

Les résultats montrés dans les figures ci-dessous indiquent que :

- Les façades Nord des deux salles de classe S6-1 et S6-2 sont ombragées totalement pendant six (06) heures de 9h00 à 15h00 et ensoleillées (totalement ou partiellement) pendant la première et les trois dernières heures d'occupation ;
- La façade Est de la salle S6-2 est exposée au rayonnement solaire direct pendant quatre (04) heures dès la première heure d'occupation ;
- Contrairement aux ouvertures de l'orientation Nord qui paraissent protégées des rayons solaires directs, celles de l'orientation Est (S6-2) permettent la pénétration de ce rayonnement à l'intérieur.

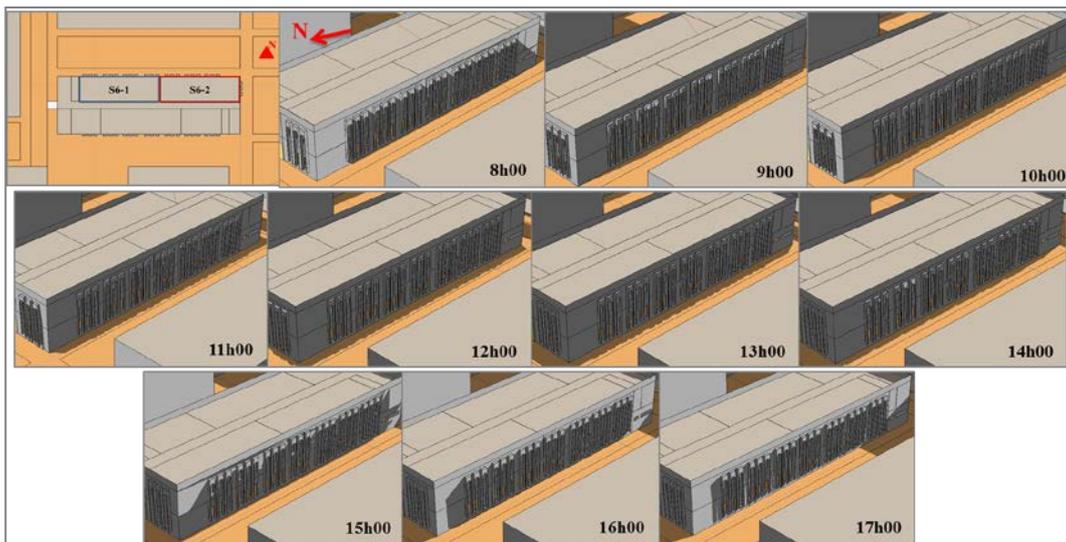


Fig VII. 12 : Ensoleillement des façades des salles de classe S6-1 et S6-2  
(Source : Auteur)

Donc, la durée d'exposition des deux salles de classe aux rayons solaire et spécialement leurs ouvertures est différente, la salle S6-2 présente un pourcentage d'exposition plus élevé.

#### VII.3.2 Taches solaires à l'intérieur des salles de classe :

A travers les figures exposées ci-dessus, nous remarquons :

- L'absence des taches solaires à l'intérieur de la salle de classe S6-1. Ce résultat est expliqué principalement par l'orientation de la façade vers le Nord ;

- La présence des taches solaires sur le côté Est de la salle de classe S6-2, mais qui n'occupent qu'une surface minimale et pendant une courte durée.

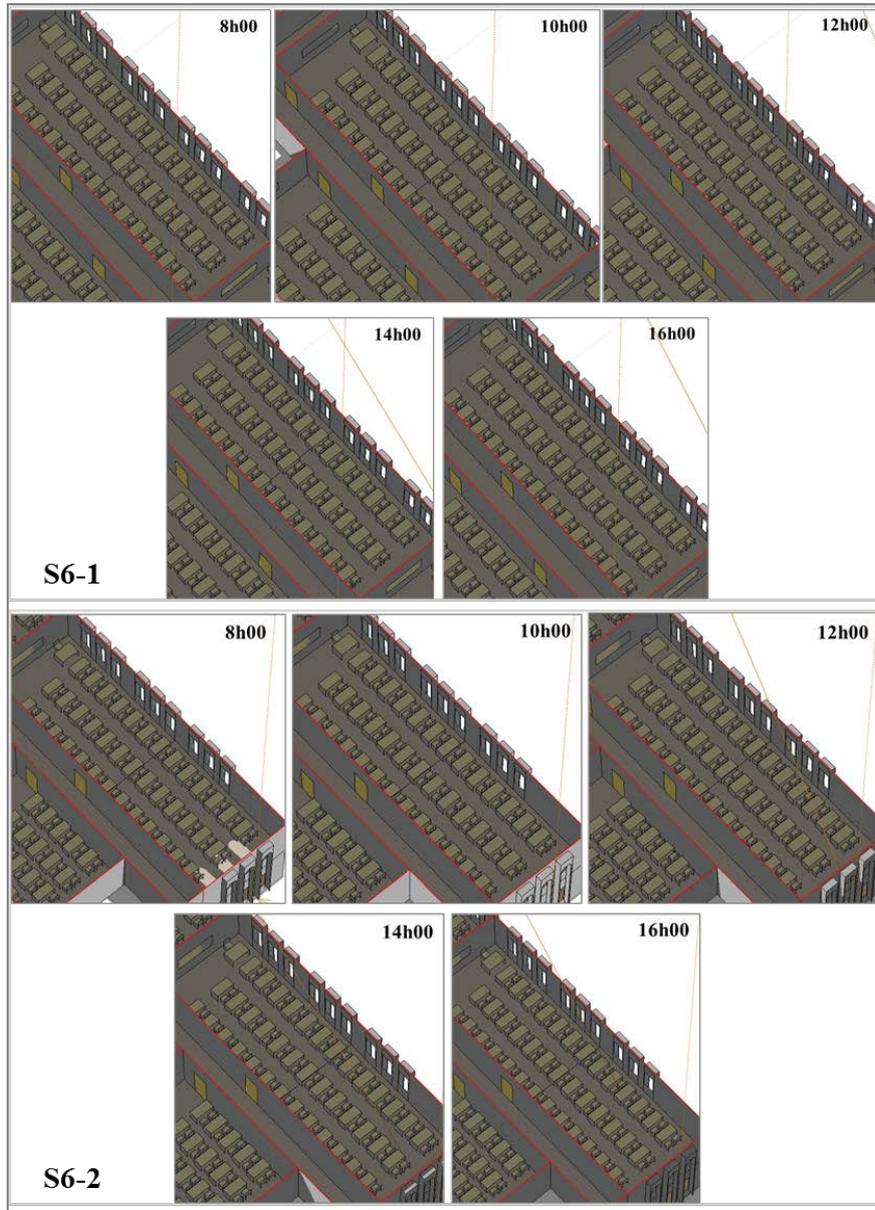


Fig VII. 13 : Répartition des taches solaires à l'intérieur des salles de classe S6-1 et S6-2 (Source : Auteur)

Cependant, cette lumière solaire, dans la salle S6-2, est considérée comme gênante ; elle peut porter un risque de reflet sur le tableau ainsi qu'un risque d'ombre sur le plan du travail (tables situées au fond de la salle) causée par le fait qu'elle est dirigée dans le dos des étudiants. Cependant, cette influence semble être minimale à cause de la profondeur importante de la salle de classe (nous constatons que les étudiants pendant leurs séances déroulées au sein de cette salle n'occupent que sa moitié).

### VII.3.3 Facteur de la lumière du jour (FLJ) :

Les deux salles de classe présentent une répartition similaire de la lumière naturelle sur le côté Nord et une répartition différente sur le côté Est. Nous distinguons trois zones pour chacune des deux salles :

- Zone 01, proche des fenêtres, présente un FLJ élevé (+ 7%). C'est la partie de la première rangée) ;
- Zone 02 qui couvre la partie centrale de la salle de classe (deuxième rangée) avec un FLJ moyen d'environ 5% ;
- Zone 03 qui détermine la partie la plus éloignée des fenêtres (troisième rangée) avec un FLJ de 1%.

Nous remarquons, donc, une répartition hétérogène de la lumière naturelle à l'intérieur des deux salles. Les zones proches des fenêtres qui se caractérisent par un FLJ élevé peuvent être le siège d'un risque d'éblouissement.

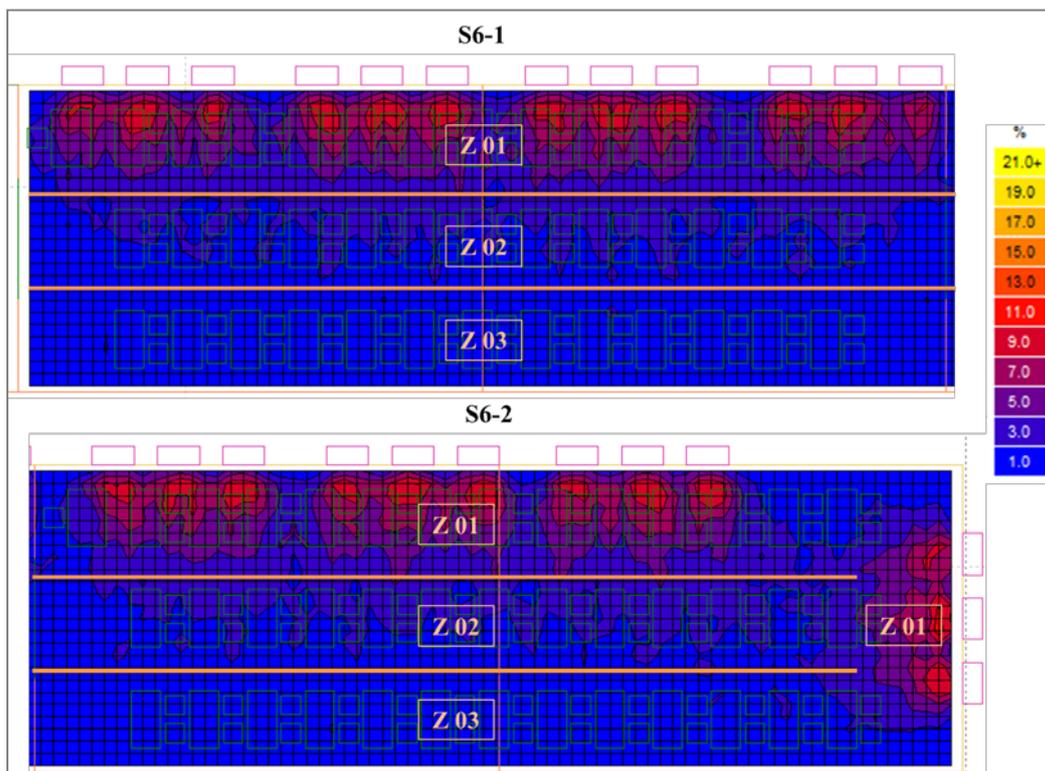


Fig VII. 14 : Répartition du facteur de lumière du jour FLJ à l'intérieur des salles de classe S6-1 et S6-2  
(Source : Auteur)

Pour résumer, nous pouvons ressortir que le nombre de murs pourvus d'ouvertures portent une influence sur la durée d'exposition de la salle de classe au rayonnement solaire direct, la formation des taches solaires et la répartition de la lumière naturelle à l'intérieur.

## VII.4 Pourcentage d'ouvertures :

Pour l'évaluation de l'impact du pourcentage d'ouvertures, le choix est opté pour les deux typologies T(I-1) et T(II-1).

### VII.4.1 Ensoleillement sur les façades :

A partir des résultats, nous pouvons retirer ce qui suit :

La façade Ouest de la salle S1-4 est la plus ensoleillée (facteur d'ombrage 41%), elle est exposée aux rayons solaires directs pendant tout l'après-midi. Ainsi, les ouvertures situées sur cette façade sont directement et totalement exposées pendant cette période.

Les ouvertures de la façade Est sont, aussi, exposées au rayonnement solaire direct pendant la période matinale. Cependant, cette façade présente un facteur d'ombrage plus élevée que celui de la façade Ouest (63%).

La façade Nord bénéficie d'un ombrage plus important, partiellement ou totalement, pendant toute la période d'occupation avec un facteur d'ombrage de 80%. Cette façade ne contient pas d'ouvertures.



Fig VII. 15 : Ensoleillement de la façade Ouest de la salle de classe S1-4  
(Source : Auteur)



Fig VII. 16 : Ensoleillement de la façade Est de la salle de classe S1-4  
(Source : Auteur)

La façade Ouest de la salle S2-2 est totalement ombragée pendant la matinée, ensoleillée pendant l'après-midi partiellement ou totalement pour la grande partie. Elle présente, donc, un facteur d'ombrage de l'ordre de 45%. Les rayons solaires atteignent ses ouvertures à partir de 13h00 et jusqu'à la fin de la durée d'occupation.

La façade Nord de la salle S2-2 est ombragée (totalement ou partiellement) pendant la durée de huit (08) heures présentant un facteur d'ombrage important (72%). Les rayons solaires gagnant cette façade, contenant pas d'ouverture, pendant les deux dernières heures de la période d'occupation.

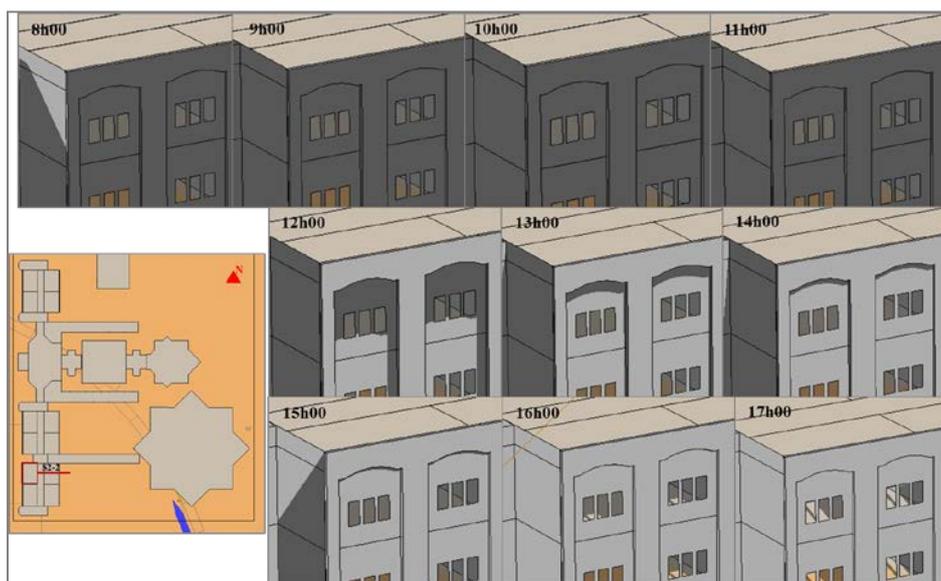


Fig VII. 17 : Ensoleillement des façades de la salle de classe S2-2  
(Source : Auteur)

La salle S1-4 présente le pourcentage d'ouverture le plus élevée, et par voie de conséquence, un pourcentage d'exposition plus élevé de ses parties transparentes ainsi qu'une pénétration plus importante des rayons solaires à l'intérieur. Ce dernier point sera illustré dans la partie suivante (taches solaires).

#### VII.4.2 Taches solaires à l'intérieur des salles de classe :

La lecture des résultats de la répartition des taches solaires, à l'intérieur des deux salles de classe S1-4 et S2-2, exposés dans les figures qui suivent, montrent la pénétration des rayons solaires directement à l'intérieur des deux salles de classe :

- Pendant la quasi-totalité de la durée d'occupation, pour la salle S1-4, à travers les ouvertures orientées Est et Ouest. Cette pénétration génère une tache solaire importante sur les plans du travail des étudiants ;

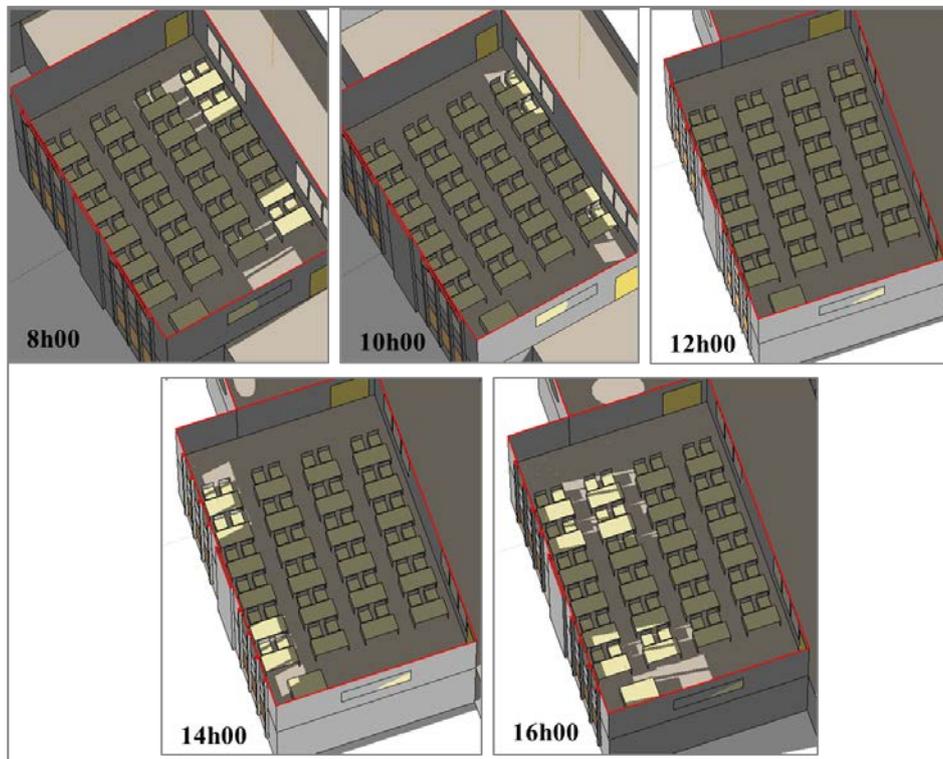


Fig VII. 18 : Répartition des taches solaires à l'intérieur de la salle de classe S1-4  
(Source : Auteur)

- L'après-midi pour la salle S2-2 engendrant une tache solaire de plus en plus profonde jusqu'à la fin de la période d'occupation.

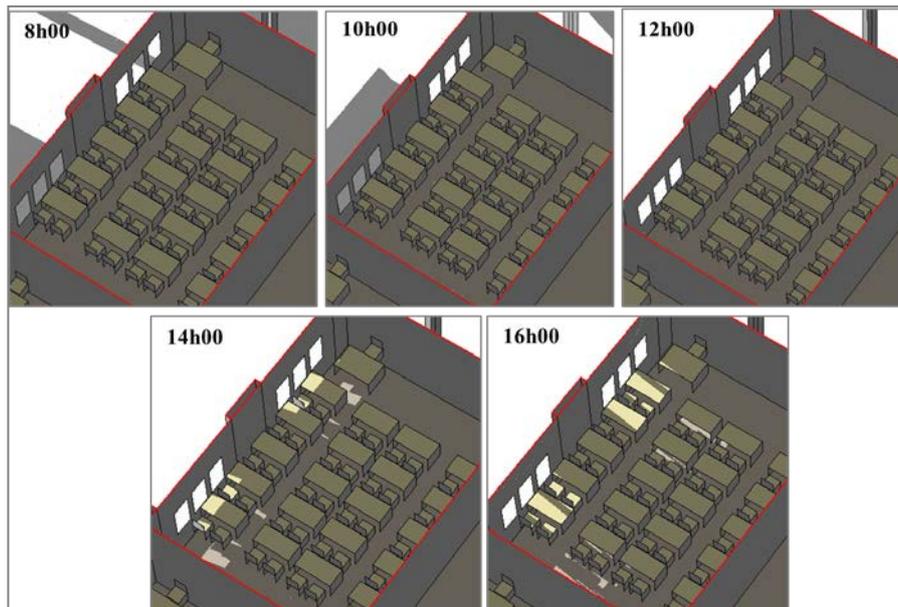


Fig VII. 19 : Répartition des taches solaires à l'intérieur de la salle de classe S2-2  
(Source : Auteur)

La salle S1-4 est caractérisée par la grande surface d'ouvertures répartie bilatéralement. Cela explique la différence de l'importance et la répartition des taches solaires. Ainsi, en comparant la tache solaire sur le côté Ouest des deux salles de classe, la salle S1-4 présente une tache un peu plus profonde par rapport à la salle S2-2.

#### VII.4.3 Facteur de la lumière du jour (FLJ) :

La lumière naturelle est répartie d'une manière hétérogène dans les deux salles de classe (surtout pour la salle S2-2).

Cette répartition divise la salle S1-4 en deux zones distinctes :

- Zone 01, qui présente des valeurs élevées à très élevées de FLJ (8 – 20%), c'est la zone à proximité des ouvertures (première et quatrième rangée). Les valeurs du FLJ sont plus importantes sur le côté Ouest de la salle de classe ;
- Zone 02, qui couvre les axes centraux de la salle (axe longitudinal et transversal), présentant des valeurs moyennes de FLJ (2 – 6%).

Pour la salle S2-2, nous distinguons trois zones principales :

- Zone 01 qui présente des valeurs de FLJ élevée (supérieures à 5%), elle détermine une petite partie à côté des ouvertures ;
- Zone 02 présentant des valeurs allant de 2% jusqu'à 5% de FLJ, elle couvre une partie près des ouvertures et s'étend jusqu'à la deuxième rangée ;

- Zone 03 qui se caractérise par des valeurs de FLJ faibles (inférieur à 2%), elle délimite la majeure partie de la salle de classe en s'éloignant des ouvertures.

Les parties caractérisées par des valeurs importantes du FLJ, surtout pour la salle S1-4, peuvent subir un problème d'éblouissement pour les étudiants.

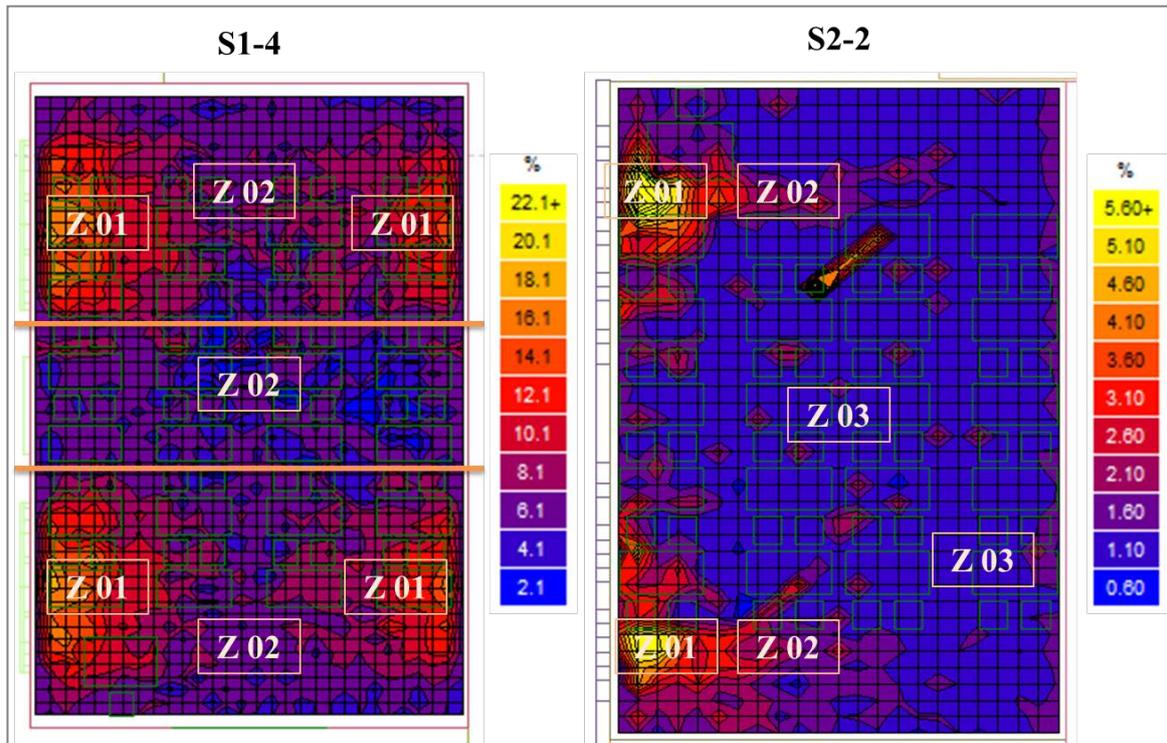


Fig VII. 20 : Répartition du facteur de lumière du jour FLJ à l'intérieur des salles de classe S1-4 et S2-2  
(Source : Auteur)

La salle S1-4 présentant le pourcentage le plus élevé des ouvertures et par la suite les valeurs les plus importantes du FLJ. Donc, le « pourcentage d'ouvertures » porte une influence significative sur la quantité de la lumière naturelle pénétrante et sa répartition à l'intérieur des salles de classe.

Le pourcentage d'ouvertures traduit par le rapport « surface ouvertures / surface plancher » porte, donc, une influence claire sur la quantité du rayonnement solaire transmise directement à l'intérieur et par la suite sur l'importance de la tache solaire et la quantité de la lumière naturelle pénétrante ainsi que leur répartition à l'intérieur des salles de classe.

## VII.5 Orientation de la façade principale :

Les typologies choisies pour cette partie de simulation sont les suivantes : [T(I-1), T(I-3)], [T(II-1), T(VI-4)], [T(II-2), T(II-3)], [T(III-1), T(III-2)] et [T(IV-1), T(IV-3)].

### VII.5.1 Ensoleillement des façades :

Les résultats, présentés dans les figures ci-dessus, indique ce qui suit :

- **Orientations Ouest / Nord :**

Tandis que la façade Nord de la salle de classe S1-9 reçoit une quantité minimale du rayonnement solaire direct et pour une courte durée, la façade Ouest de la salle S1-1 reçoit une grande quantité pendant tout l'après-midi. Les facteurs d'ombrage sont de l'ordre de 92% pour S1-9 et 41% pour S1-1.

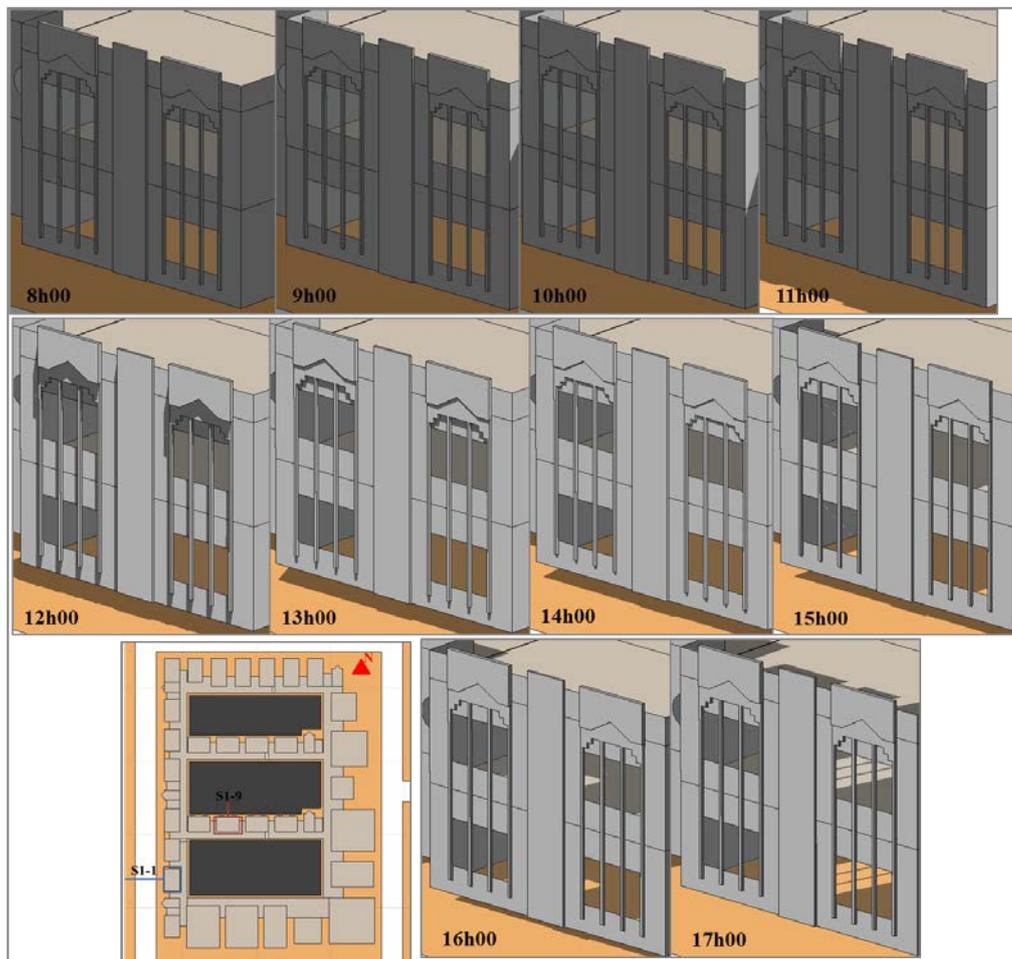


Fig VII. 21 : Ensoleillement de la façade Ouest de la salle de classe S1-1  
(Source : Auteur)

Ainsi, la durée de l'exposition de la salle S1-1 aux rayons solaires correspond à des valeurs élevées de la température extérieure.



Fig VII. 22 : Ensoleillement de la façade Nord de la salle de classe S1-9  
(Source : Auteur)

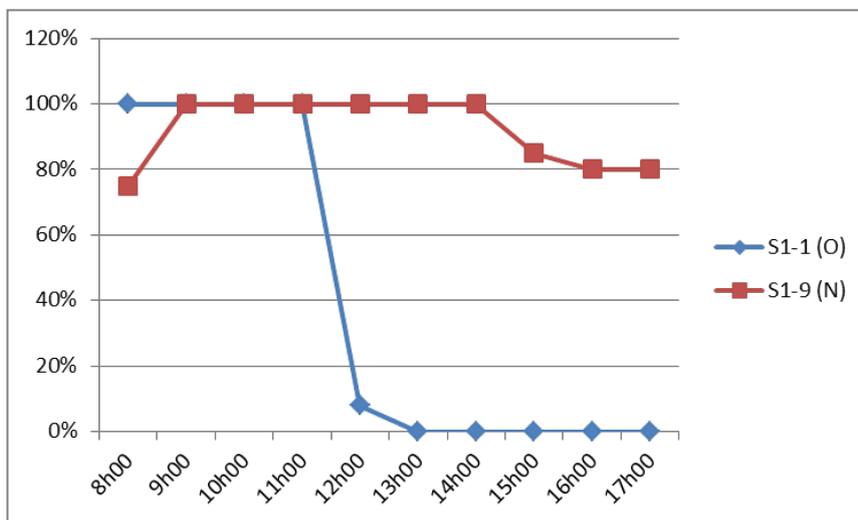


Fig VII. 23 : Facteur d'ombrage des façades Ouest de la salle de classe S1-4  
et Nord de la salle de classe S1-9  
(Source : Auteur)

- Orientations Ouest / Sud :

Les résultats sont présentés dans les figures qui suivent :

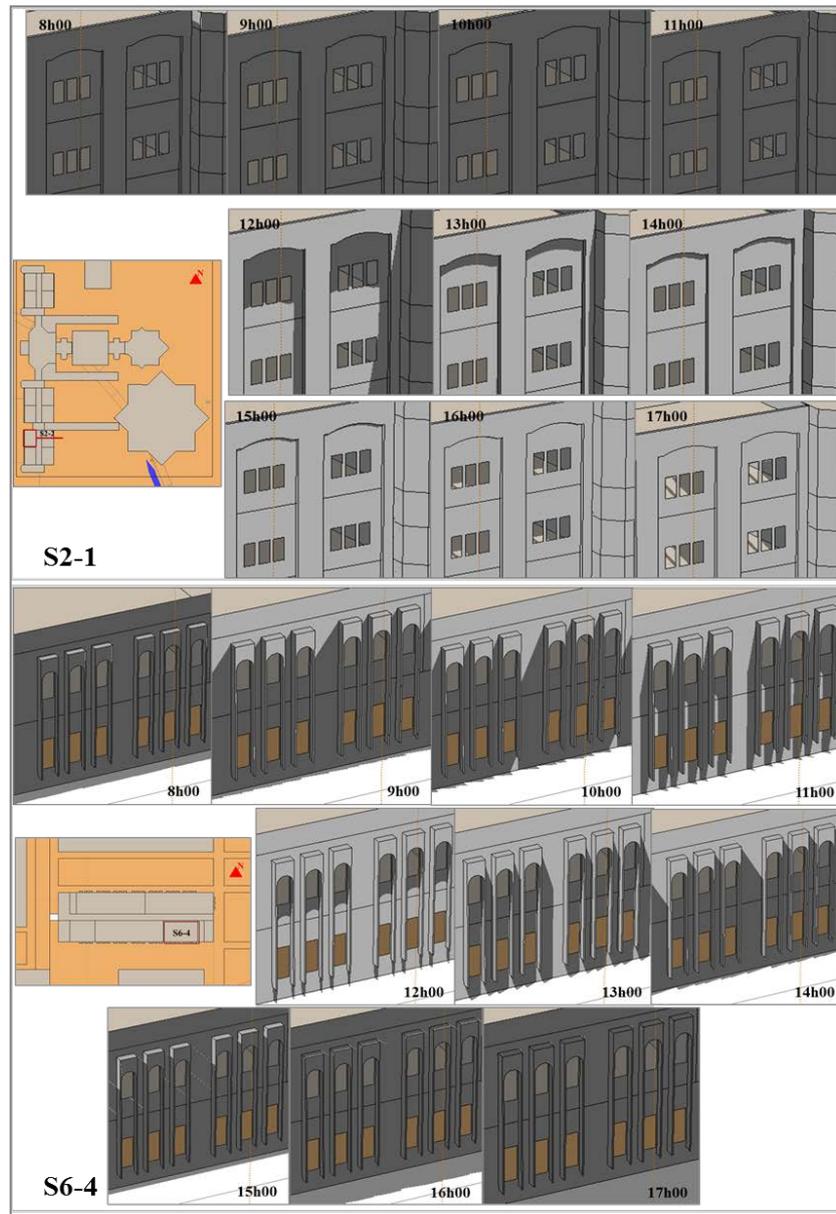


Fig VII. 24 : Ensoleillement des façades Ouest de la salle de classe S2-1 et Sud de la salle de classe S6-4 (Source : Auteur)

Les façades Ouest de la salle S2-1 et Sud de la salle S6-4 sont exposées au rayonnement solaire direct pendant une durée de six (06) heures. Cependant la salle S6-4 présente une valeur plus importante du facteur d'ombrage (73% contre 45%). Cela est justifié par la hauteur importante du soleil ce qui permet aux éléments de la façade de projeter l'ombre principalement sur les ouvertures. Contrairement, la façade Ouest de la salle S2-1 reçoit le rayonnement solaire le plus difficile à contrôler à cause de son faible angle d'incidence.

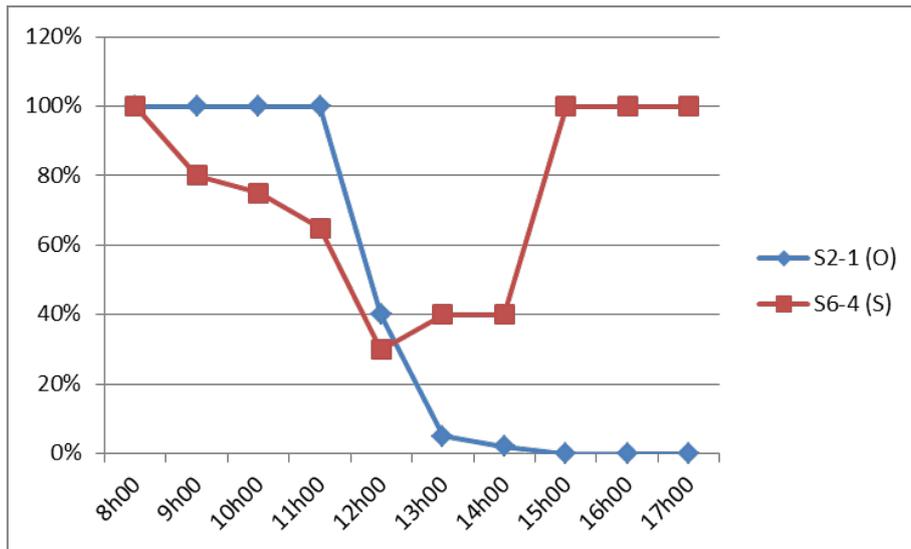


Fig VII. 25 : Facteur d'ombrage des façades Ouest de la salle de classe S2-1 et Sud de la salle de classe S6-4 (Source : Auteur)

• **Orientations Ouest / Est :**

Les deux façades Est de la salle S2-4 et Ouest de la salle S2-2 sont ombragées et ensoleillées d'une manière inverse. Pendant les quatre (04) heures matinales, au moment où la façade Est est exposée aux rayons solaires directs, la façade Ouest est dans l'ombre. Cette dernière façade se trouve, alors, exposée au rayonnement solaire pendant l'après-midi lorsque la façade Est profite de l'ombre. Le facteur d'ombrage sera, donc, plus important pour la façade Est de la salle S2-4 (62% par rapport à 45%).

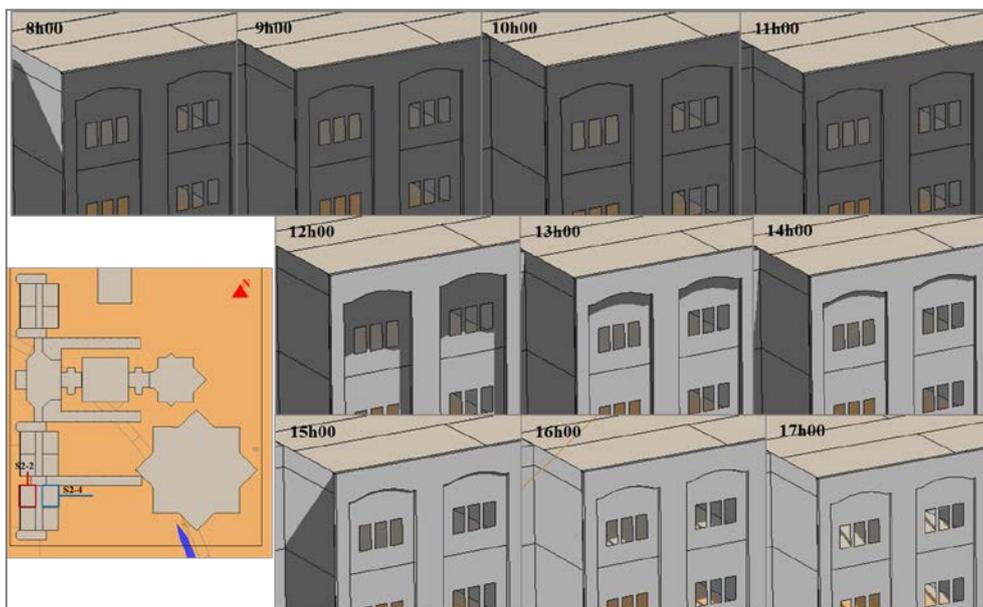


Fig VII. 26 : Ensoleillement sur la façade Ouest de la salle de classe S2-2 (Source : Auteur)

En outre, l'intervalle du temps où la façade Ouest de la salle S2-2 est exposée au rayonnement solaire se caractérise par des valeurs plus élevées de la température extérieure par rapport à la durée d'exposition de la façade Est de la salle S2-4.

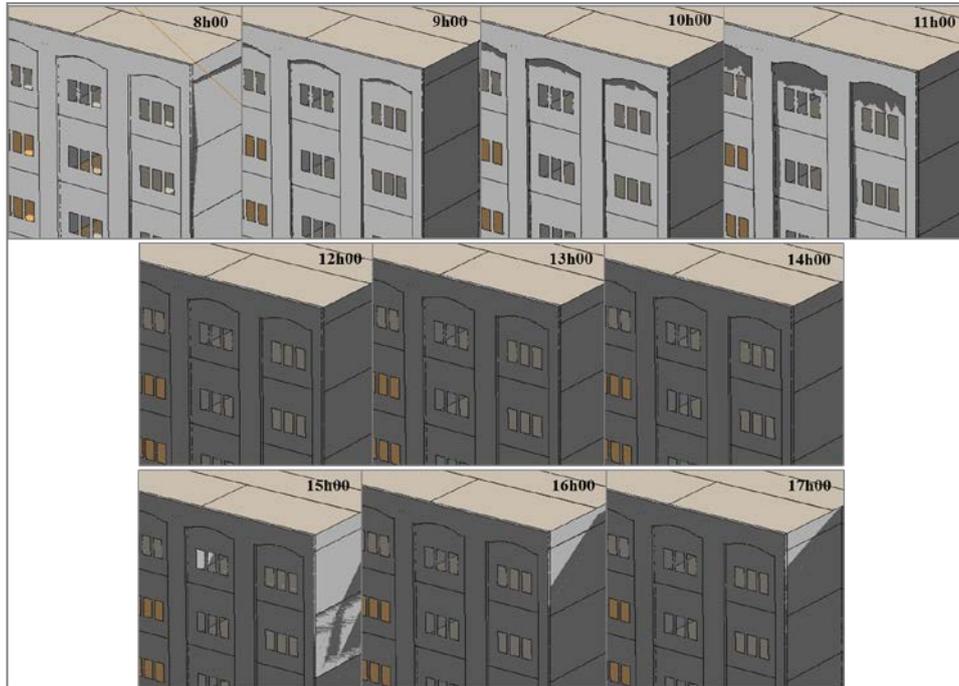


Fig VII. 27 : Ensoleillement de la façade Est de la salle de classe S2-4 (Source : Auteur)

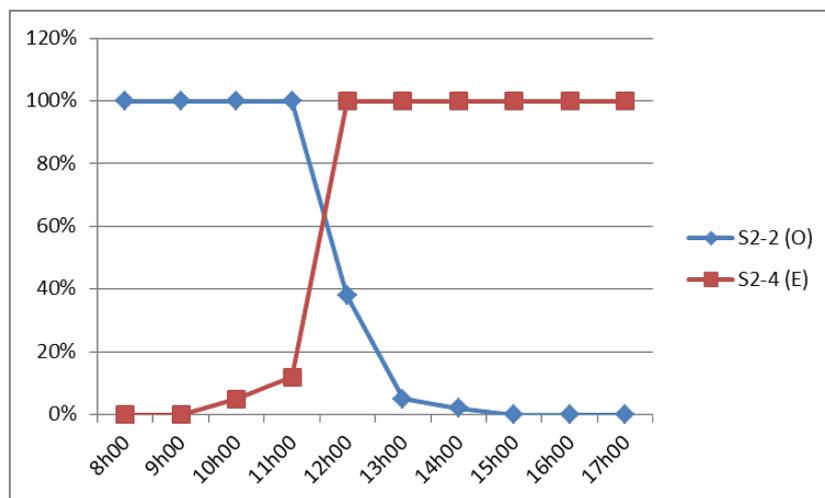


Fig VII. 28 : Facteur d'ombrage des façades Ouest de la salle de classe S2-2 et Est de la salle de classe S2-4 (Source : Auteur)

- **Orientations Nord / Sud :**

Les façades Nord des deux salles de classe S3-5 et S4-1 sont exposée directement, partiellement ou totalement, au rayonnement solaire pendant la première et les trois dernières heures d'occupation. Elles présentent des facteurs d'ombrage importants (85% pour S3-5 et 69% pour S4-1).

Les deux façades Sud des salles de classe S3-6 et S4-5, qui présentent des facteurs d'ombrage de 63% et 42% respectivement, reçoivent les rayons solaires directs pendant une durée de six (06) heures allant de 9h00 jusqu'à 14h00. Ainsi, elles sont ombragées pour le reste de la durée d'occupation.

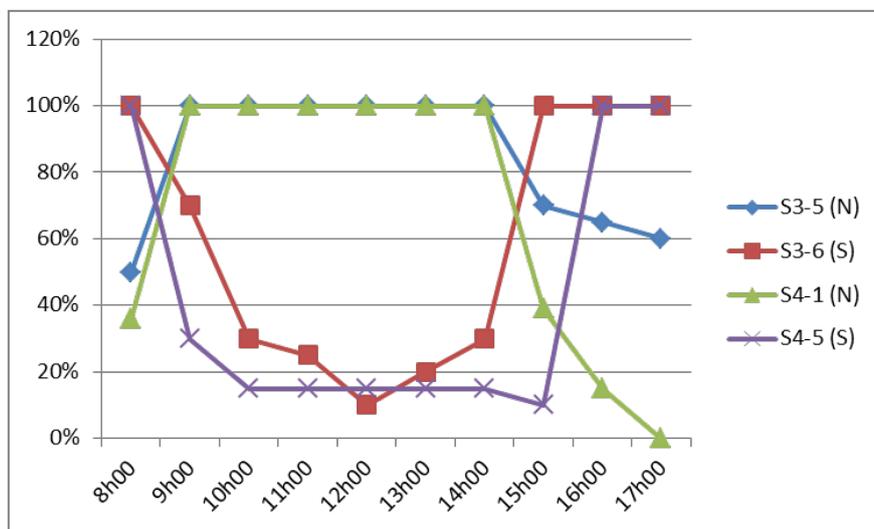


Fig VII. 29 : Facteur d'ombrage des façades Nord des salles S3-5, S4-1 et Sud des salles de classe S3-6, S4-5 (Source : Auteur)

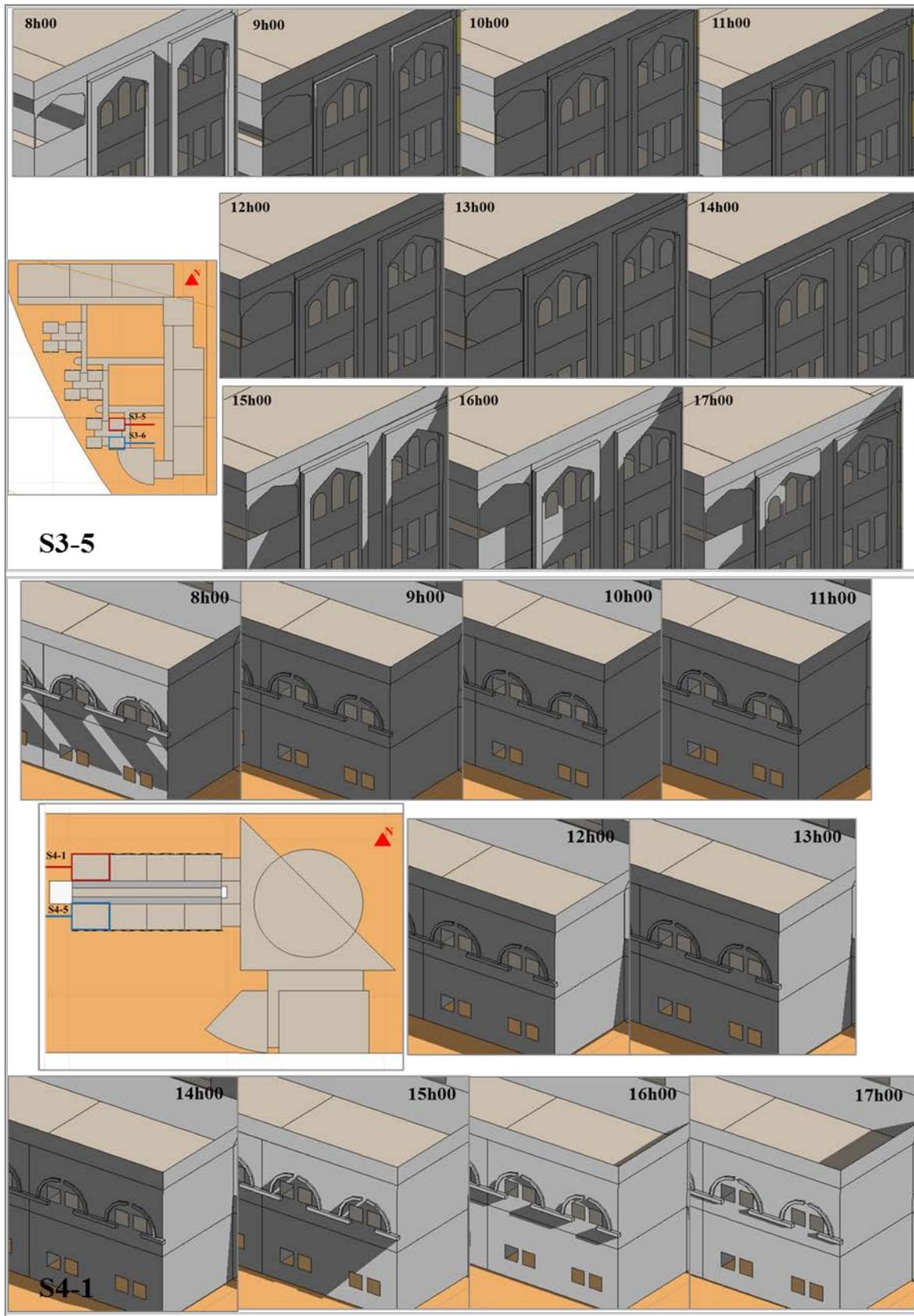


Fig VII. 30 : Ensoleillement des façades Nord des salles de classe S3-5 et S4-1  
(Source : Auteur)

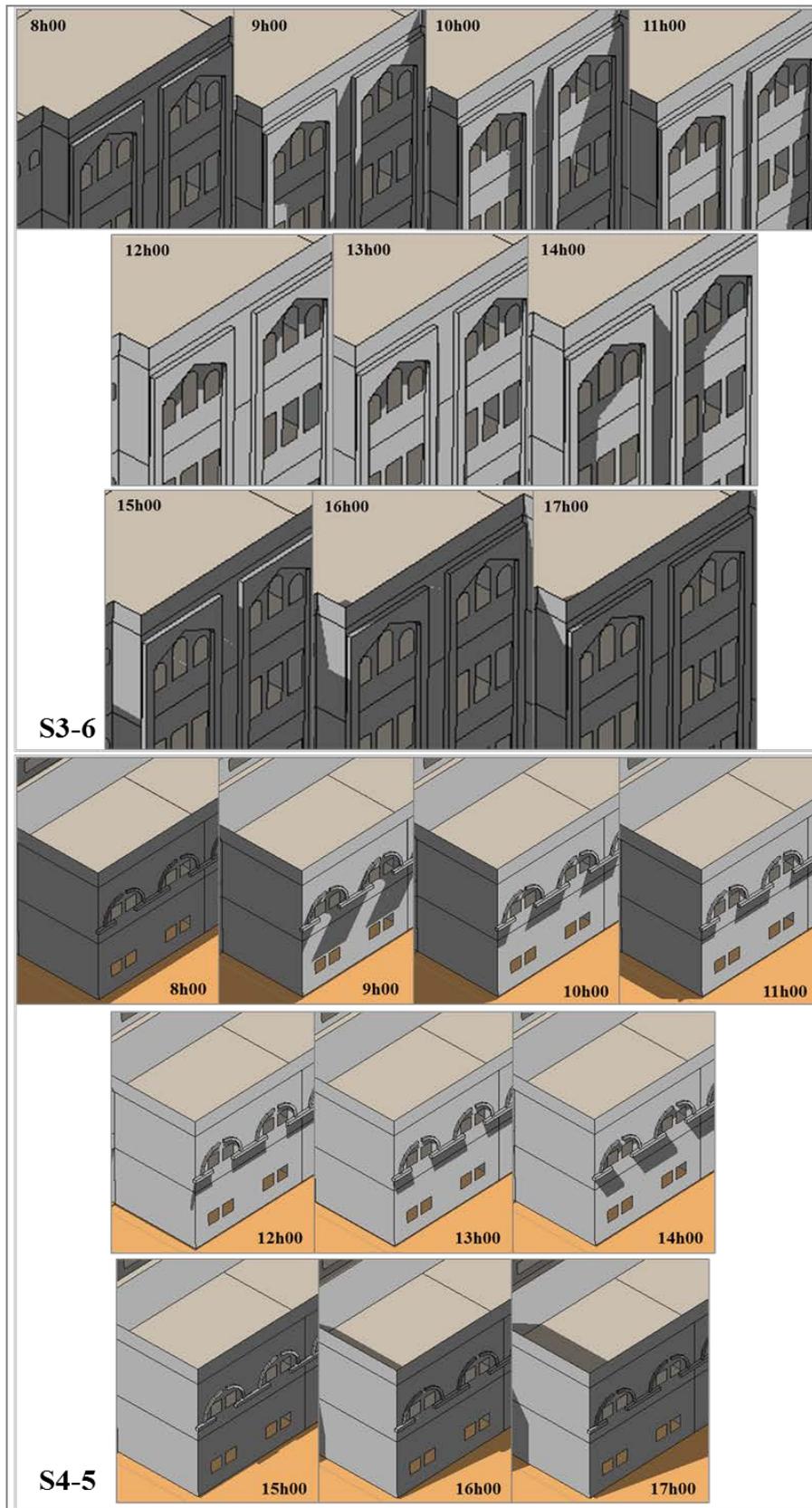


Fig VII. 31 : Ensoleillement des façades Sud des salles de classe S3-6 et S4-5  
(Source : Auteur)

## VII.5.2 Taches solaires à l'intérieur des salles de classe :

Les résultats sont présentés dans les figures qui suivent :

- Orientations Ouest / Nord :

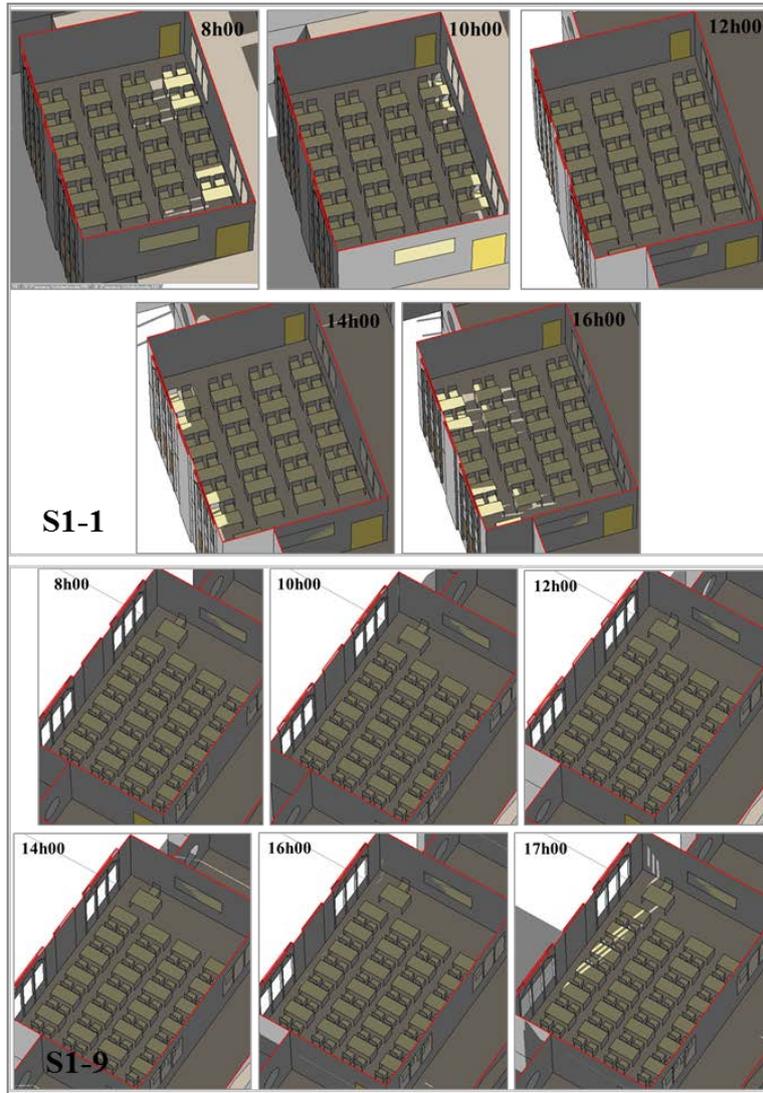


Fig VII. 32 : Répartition des taches solaires à l'intérieur des salles de classe S1-1 et S1-9 (Source : Auteur)

La façade Ouest de la salle de classe S1-1 est exposée aux rayons solaires directs l'après-midi avec des quantités de plus en plus élevées. Ces rayons solaires atteignent l'intérieur de la salle à travers les ouvertures engendrant des taches solaires de plus en plus importantes et profondes touchant les plans du travail des étudiants.

Contrairement, la salle S1-9, orientée vers le Nord, ne reçoit qu'une quantité minimale du rayonnement solaire vers la fin de la période d'occupation et par conséquent des petites taches solaires ayant une insignifiante influence.

- **Orientations Ouest / Sud :**

La façade Sud de la salle de classe S6-4 reçoit le rayonnement solaire avec de faibles quantités (l'angle d'incidence est important) par rapport à la façade Ouest de la salle S2-1 qui reçoit une grande quantité tout l'après-midi causée par le faible angle d'incidence des rayons solaires. Cette dernière salle est, donc, influencée par les taches solaires (surtout la 1<sup>ère</sup> rangée). Par contre, la salle S6-4 est complètement exclue de cet inconvénient des taches solaires (l'orientation Sud et l'effet des éléments de brise soleil).

Par conclusion, l'orientation Ouest est plus influencée par les taches solaires que l'orientation Sud.

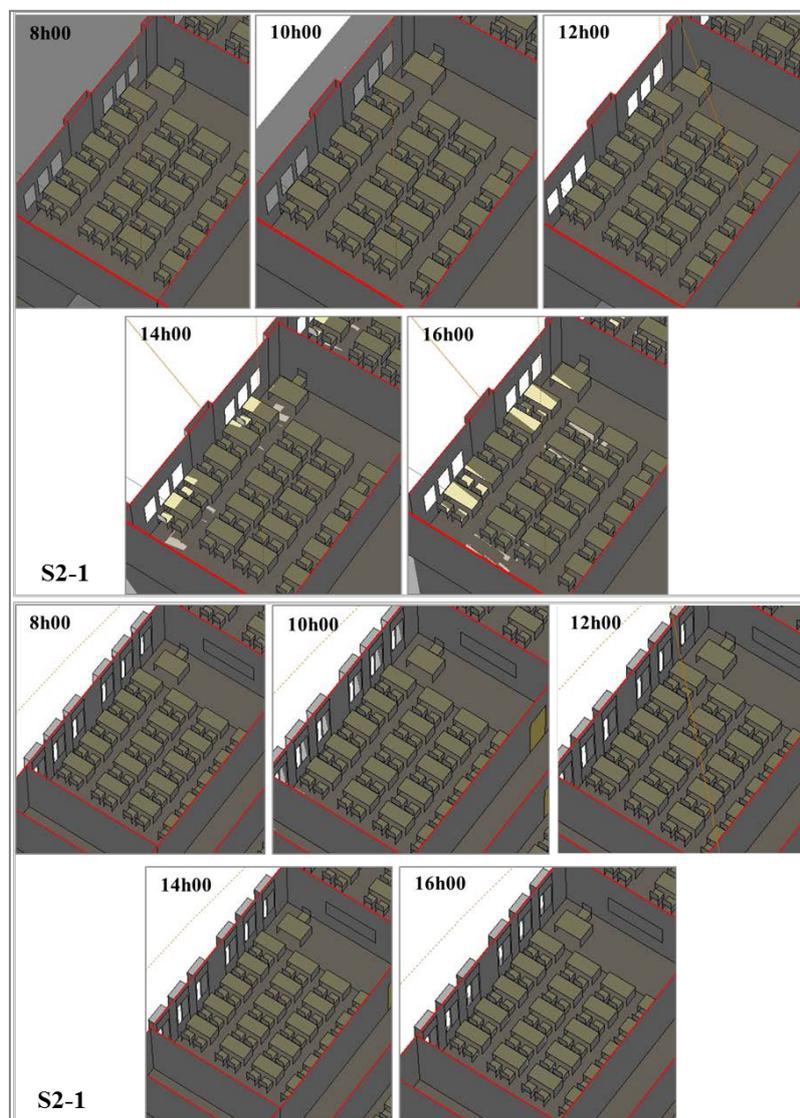


Fig VII. 33 : Répartition des taches solaires à l'intérieur des salles de classe S2-1 et S6-4  
(Source : Auteur)

- **Orientations Ouest / Est :**

Les résultats présentés dans les figures ci-dessus montrent que les deux salles de classe S2-2 et S2-4 sont le siège de la pénétration des rayons solaires directs ; pendant la matinée pour la salle S2-4 (façade Est) et pendant l'après-midi pour la salle S2-2 (façade Ouest). Ce qui génère des taches solaires arrivant sur les étudiants de la première rangée en premier degré et ceux de la deuxième rangée mais avec un degré moins influent.

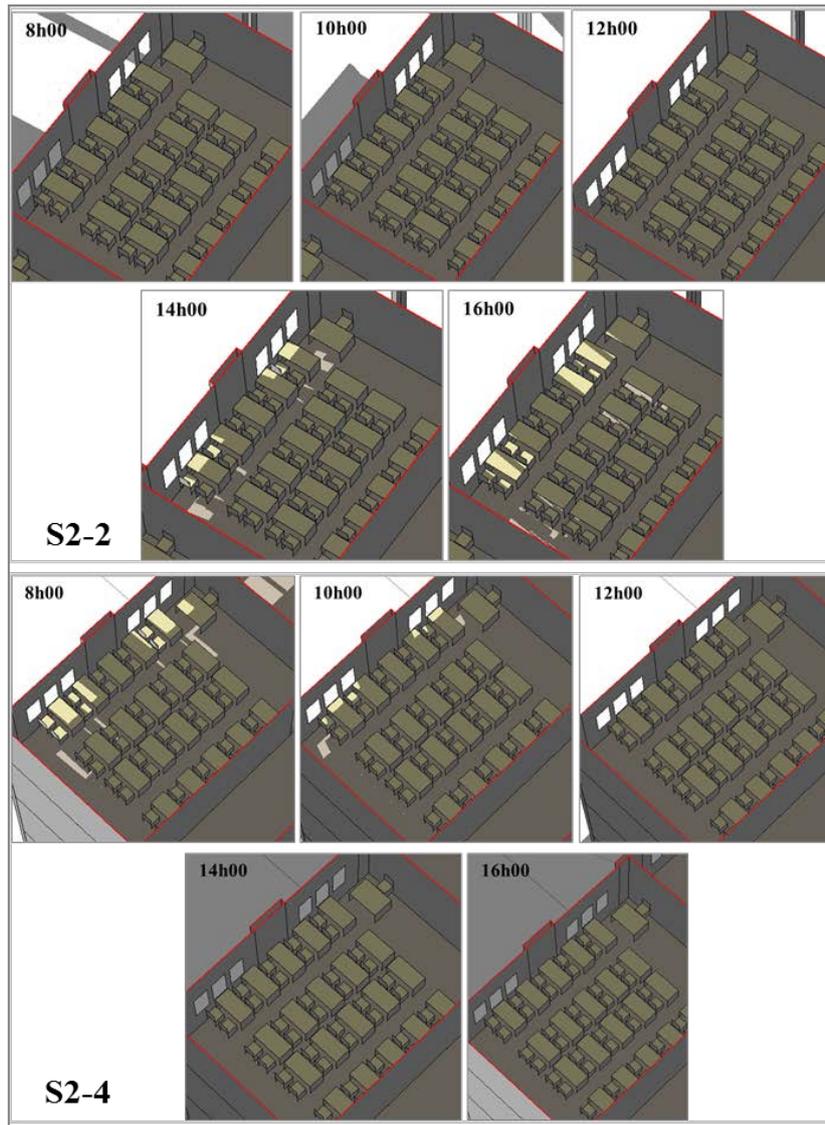


Fig VII. 34 : Répartition des taches solaires à l'intérieur des salles de classe S2-2 et S2-4 (Source : Auteur)

La profondeur des taches se changent d'une manière inverse pour les deux salles (diminution pour la salle S2-4 et augmentation pour la salle S2-2). Du fait que les rayons solaires arrivant sur le côté Ouest sont plus chaudes, l'influence des taches est plus sérieuse pour cette orientation.

- **Orientations Nord / Sud :**

Les résultats obtenus sont traduits par les figures suivantes :

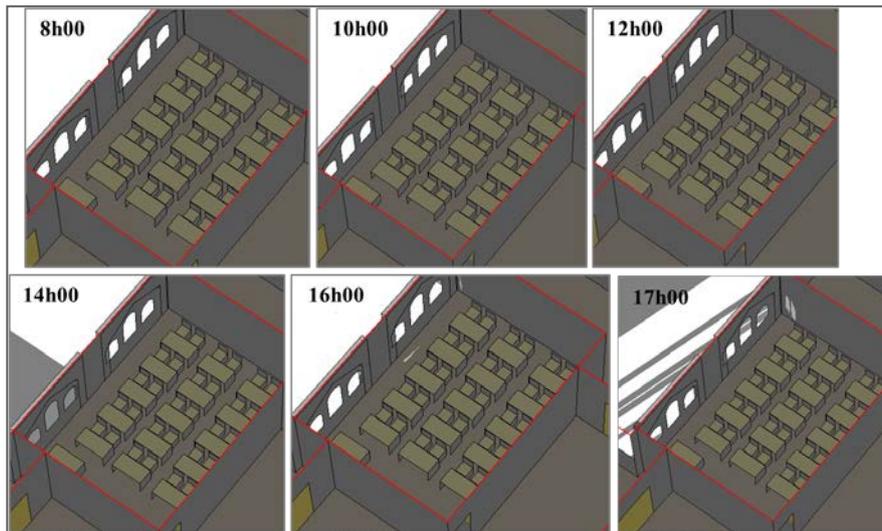


Fig VII. 35 : Répartition des taches solaires à l'intérieur de la salle de classe S3-5  
(Source : Auteur)

Les salles de classe orientées vers le Nord ne reçoivent pas les rayons solaires directs que vers la fin de la période d'occupation. Les taches solaires formées par cette pénétration n'occupent qu'une petite surface pendant une courte durée (surtout pour la salle S3-5).

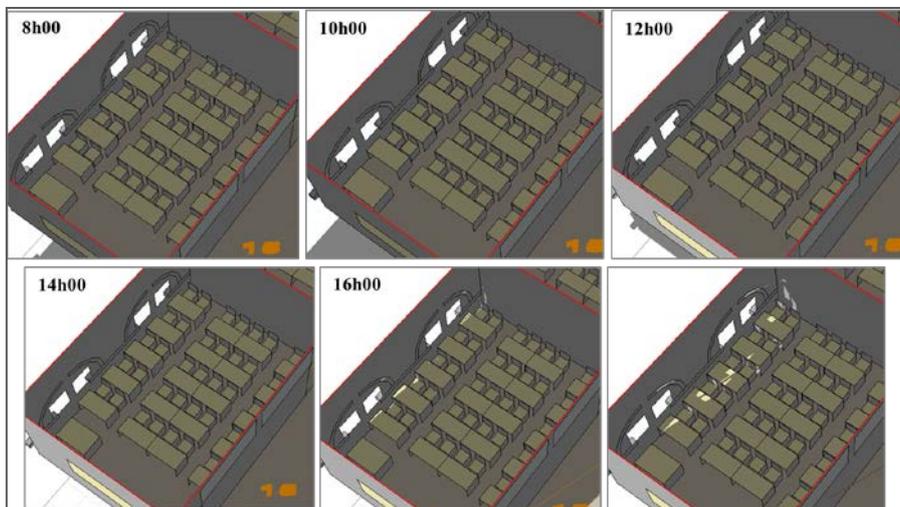


Fig VII. 36 : Répartition des taches solaires à l'intérieur de la salle de classe S4-1  
(Source : Auteur)

De même, à l'intérieur des salles de classe orientées vers le Sud, et malgré leur exposition aux rayons solaires pendant une durée plus longue que celle de l'orientation Nord, des petites taches solaires sont formées n'atteignant qu'une surface minimale (principalement pour la salle S3-6).

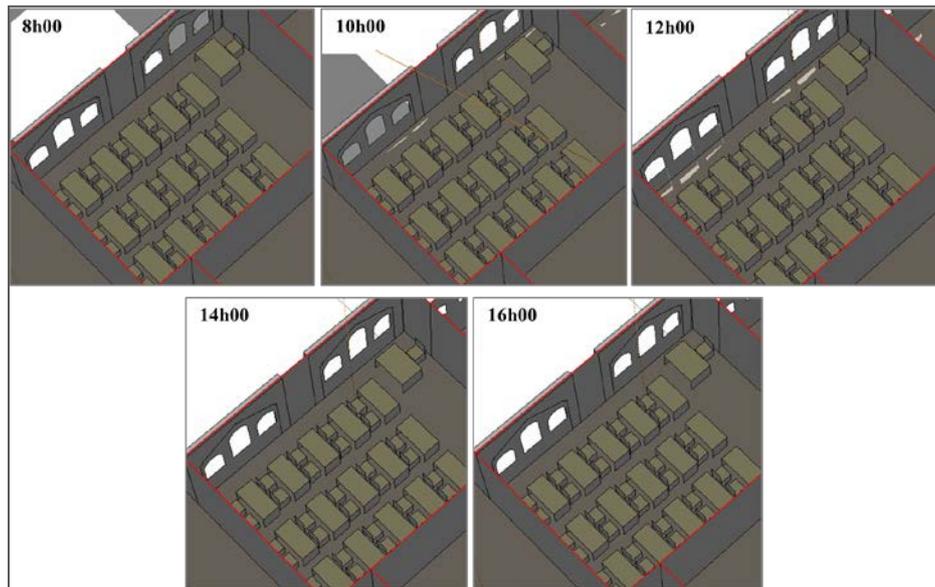


Fig VII. 37 : Répartition des taches solaires à l'intérieur de la salle de classe S3-6  
(Source : Auteur)

Le résultat est expliqué par l'important angle d'incidence avec lequel les rayons solaires frappent ces façades orientées vers le Sud ce qui permet, par la suite, aux ouvertures de réfléchir une bonne quantité de rayonnement solaire incident.



Fig VII. 38 : Répartition des taches solaires à l'intérieur de la salle de classe S4-5  
(Source : Auteur)

L'orientation influe sur la durée et l'intensité du rayonnement solaire reçu par les façades et, donc, sur l'importance et la profondeur des taches solaires formées à l'intérieur des salles de classe. L'orientation Nord est la moins exposée au rayonnement solaire et la moins influencée par les taches solaires. L'orientation Sud reçoit les rayons solaires avec un important angle d'incidence, les taches solaires à l'intérieur sont, donc, moins importantes que celle de

l'orientation Est et Ouest. Ainsi, cette dernière est plus exposée au rayonnement solaire et elles présentent des taches solaires plus profondes par rapport à l'orientation Est.

## VII.6 Protection solaire :

Pour notre échantillon d'étude, trois orientations nécessitent une protection solaire pendant la période de surchauffe : le Sud, l'Ouest et l'Est.

Nous allons exposer, dans ce qui suit, les éléments de protection solaire proposés par les concepteurs pour chacune des trois orientations et les effets d'ombrage qu'ils portent.

Tous les éléments de protection sont de type fixe par rapport à la mobilité et extérieur par rapport à la position. En outre, toutes les typologies ne possèdent pas de protection solaire intérieure mobile (représentée, souvent, par des rideaux ou des stores).

### VII.6.1 Orientation Sud :

- **1<sup>er</sup> cas** : un auvent (galerie) de dimensions importantes (3.60 m), c'est le cas de la typologie T(I-3) représentée par la salle S1-9. Il permet un ombrage total de la façade entière (parties opaques et transparentes) pendant la totalité de la durée d'exposition et par la suite l'absence des taches solaires à l'intérieur de la salle de classe. Donc, ce type est très efficace pour cette orientation.

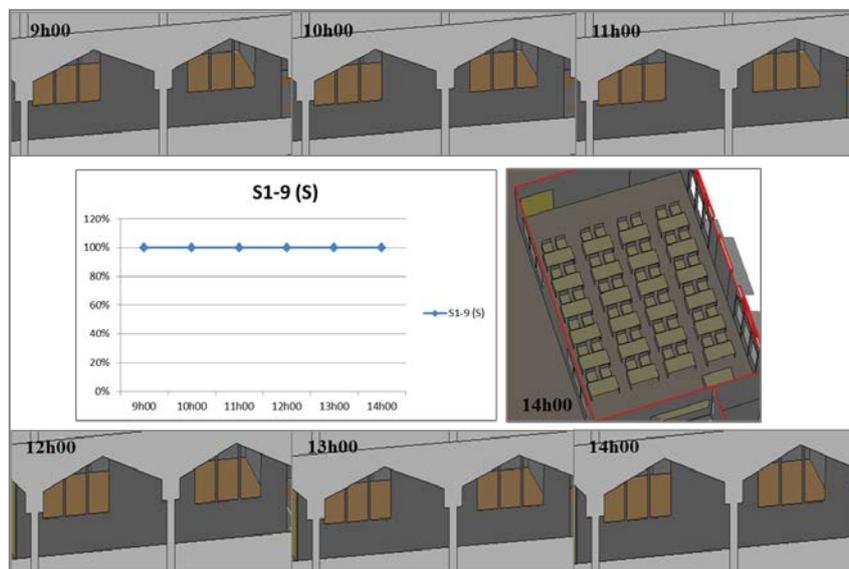


Fig VII. 39 : Ombrage de la façade Sud de la salle de classe S1-9  
(Source : Auteur)

- **2<sup>ème</sup> cas** : écrans horizontaux et verticaux de dimensions réduites (10 cm d'épaisseur), c'est le cas des typologies T(III-2) et T(III-4) représentées par les salles S3-6 et S3-8.

Pendant la durée où les façades Sud des salles de classe sont exposées aux rayons solaires directs, ces éléments ne permettent qu'un ombrage partiel et laissent passer une partie de ces rayons solaires à l'intérieur générant des taches solaires.

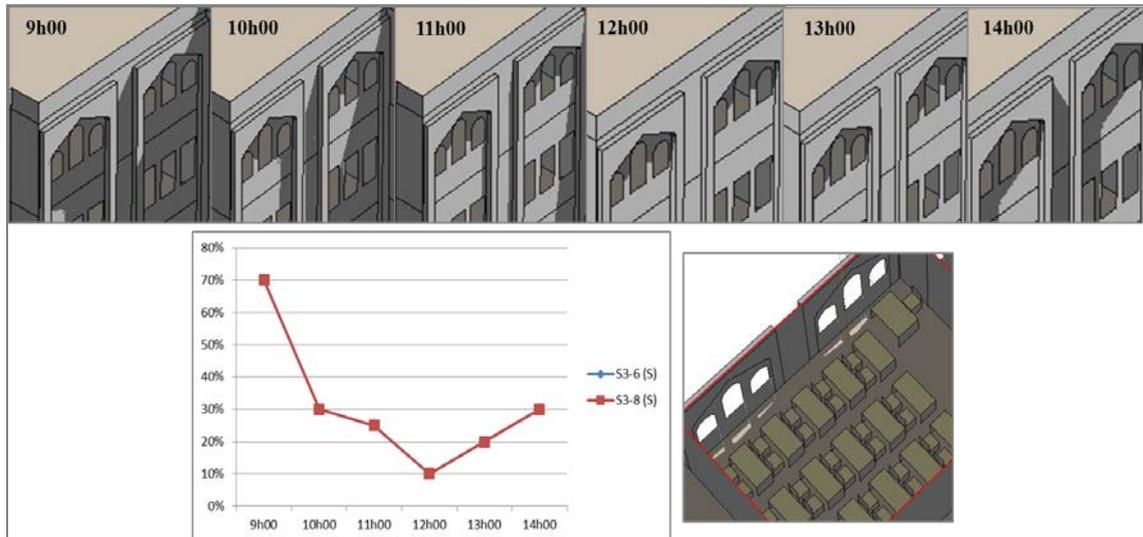


Fig VII. 40 : Ombrage des façades Sud des salles de classe S3-6 et S3-8  
(Source : Auteur)

- **3<sup>ème</sup> cas** : éléments arqués de dimensions réduites (10 cm d'épaisseur), situés au-dessus des ouvertures, pour les typologies T(IV-3) et T(IV-4) représentées par les salles S4-5 et S4-6. Le pourcentage d'ombrage fourni par ces éléments est très minime (la moyenne de 18% pendant la durée d'exposition des façades) en laissant pénétrer une grande partie du rayonnement solaire ainsi qu'une formation des taches solaires à l'intérieur.

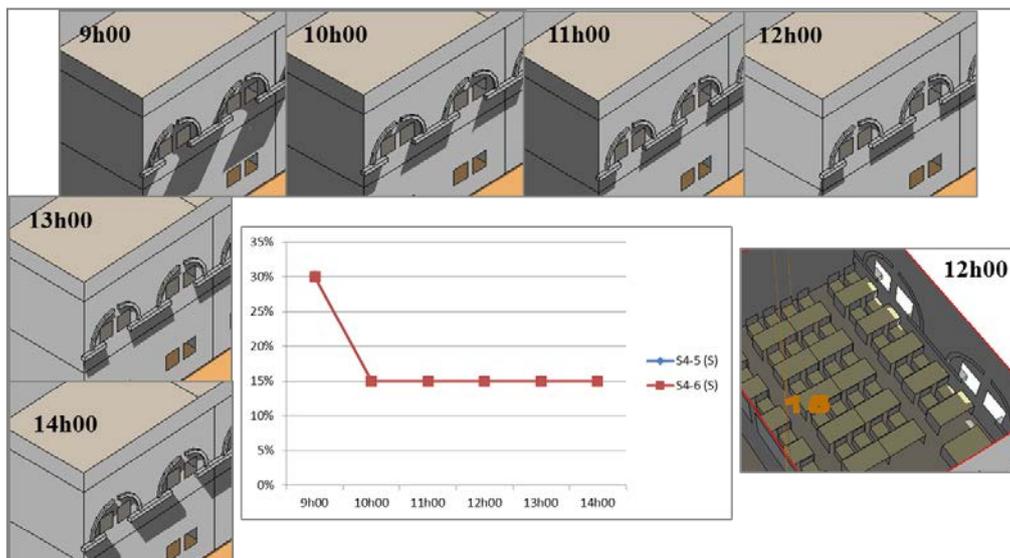


Fig VII. 41 : Ombrage des façades Sud des salles de classe S4-5 et S4-6  
(Source : Auteur)

- **4<sup>ème</sup> cas** : des écrans horizontaux et verticaux de 50 cm d'épaisseur pour la typologie T(V-3) représentée par la salle S5-4. Par leurs dimensions et leurs positions, ces éléments permettent d'ombrager une grande partie de la façade (spécialement les ouvertures) et empêchent la pénétration des rayons solaires à l'intérieur (absence des taches solaires).

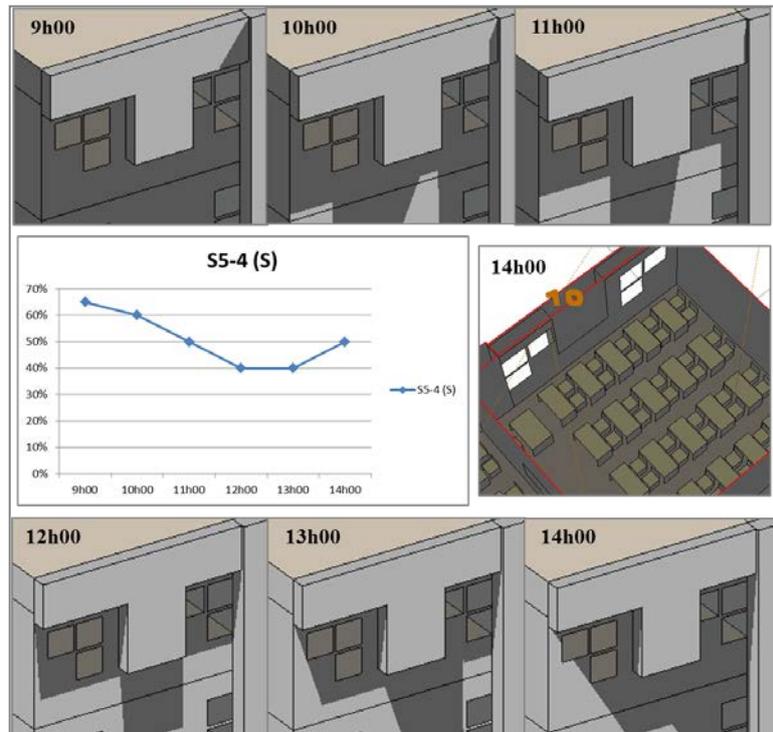


Fig VII. 42 : Ombrage de la façade Sud de la salle de classe S5-4  
(Source : Auteur)

- **5<sup>ème</sup> cas** : des lames verticales composées avec des écrans horizontaux, ces éléments sont de 40 cm de dimension, ils se présentent dans les typologies T(VI-3) et T(VI-4) représentées par les salles S6-3 et S6-4.

Ils permettent d'ombrager une partie importante des façades principalement les ouvertures qui sont dans l'ombre pendant toute la durée d'exposition des façades ce qui élimine la possibilité de pénétration des rayons solaires et la formation des taches solaires à l'intérieur des salles de classe.

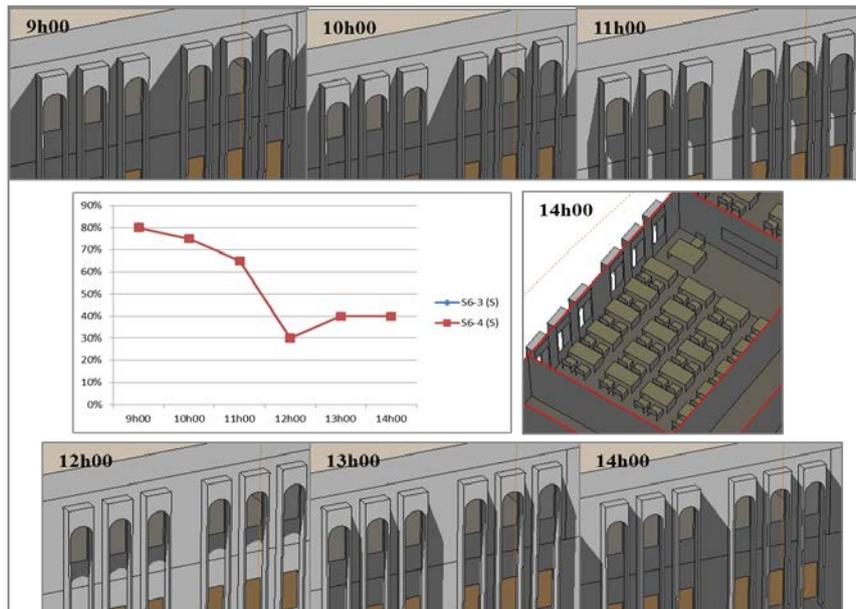


Fig VII. 43 : Ombrage des façades Sud des salles de classe de classe S6-3 et S6-4  
(Source : Auteur)

### VII.6.2 Orientation Ouest :

- 1<sup>er</sup> cas : des lames verticales composées avec des écrans horizontaux, leurs dimensions sont réduites (15 cm d'épaisseur). C'est le cas des typologies T(I-1) et T(I-2) représentées par les salles S1-1 et S1-4.

Ils n'empêchent pas les rayons solaires d'atteindre les façades et de pénétrer à l'intérieur pour causer un problème des taches solaires importantes.

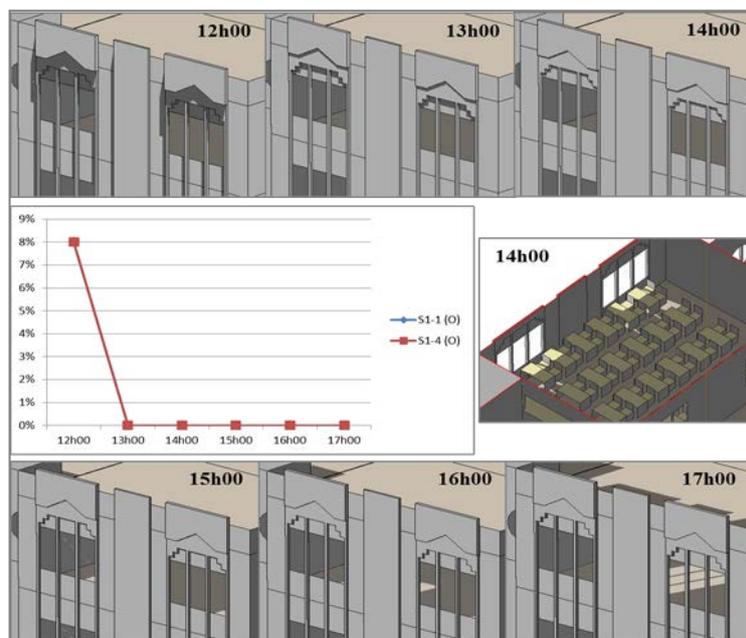


Fig VII. 44 : Ombrage des façades Ouest des salles de classe S1-1 et S1-4  
(Source : Auteur)

- **2<sup>ème</sup> cas** : des écrans horizontaux et verticaux de dimensions réduites (10 cm d'épaisseur). C'est le cas des typologies T(II-1) et T(II-2) représentées par les salles S2-1 et S2-2. Leur protection est très minime (faible facteur d'ombrage), ils permettent à la majeure partie du rayonnement solaire incident d'atteindre les façades et l'intérieur des salles formant ainsi des taches solaires.

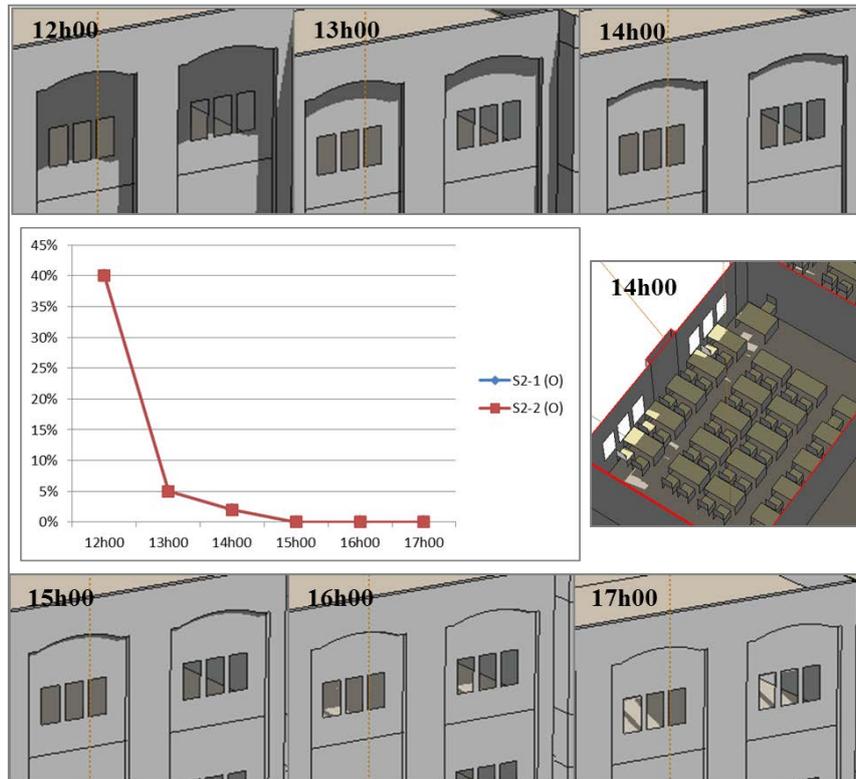


Fig VII. 45 : Ombrage des façades Ouest des salles de classe S2-1 et S2-4  
(Source : Auteur)

### VII.6.3 Orientation Est :

- **1<sup>er</sup> cas** : un auvent (galerie) de dimensions importantes (3.60 m) pour les typologies T(I-1) et T(I-2) représentées par les salles S1-1 et S1-4. Son efficacité en cette orientation est minime ; elle permet aux rayons solaires d'atteindre les façades et de pénétrer à l'intérieur (formation des taches solaires).

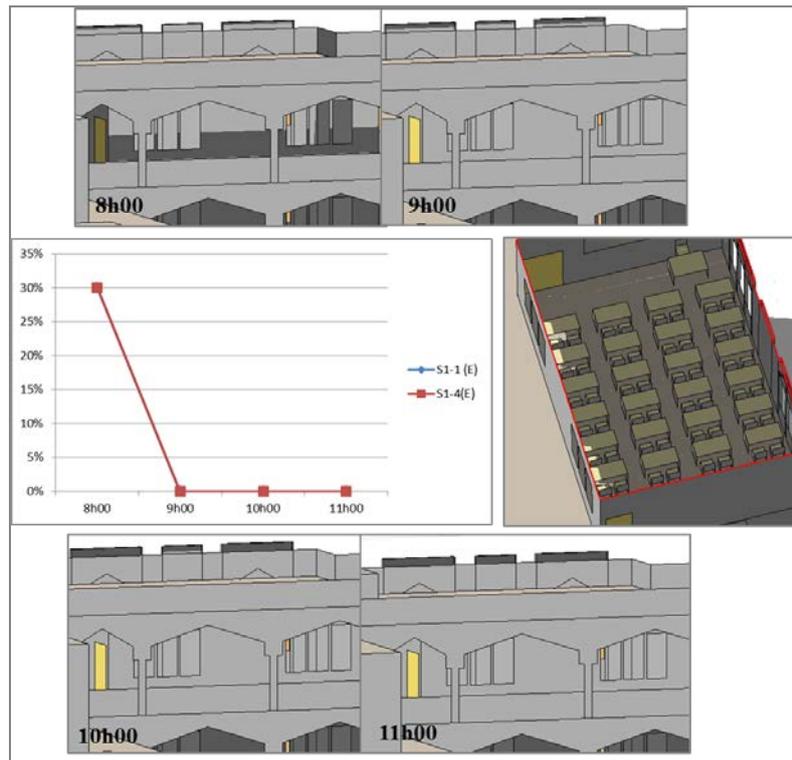


Fig VII. 46 : Ombrage des façades Est des salles de classe S1-1 et S1-4  
(Source : Auteur)

- 2<sup>ème</sup> cas : des écrans horizontaux et verticaux de dimensions réduites (10 cm d'épaisseur). C'est le cas de la typologies T(II-3) représentée par la salle S2-4. Ils laissent la grande partie du rayonnement solaire incident de gagner la façade et de pénétrer à l'intérieur générant des taches solaires.

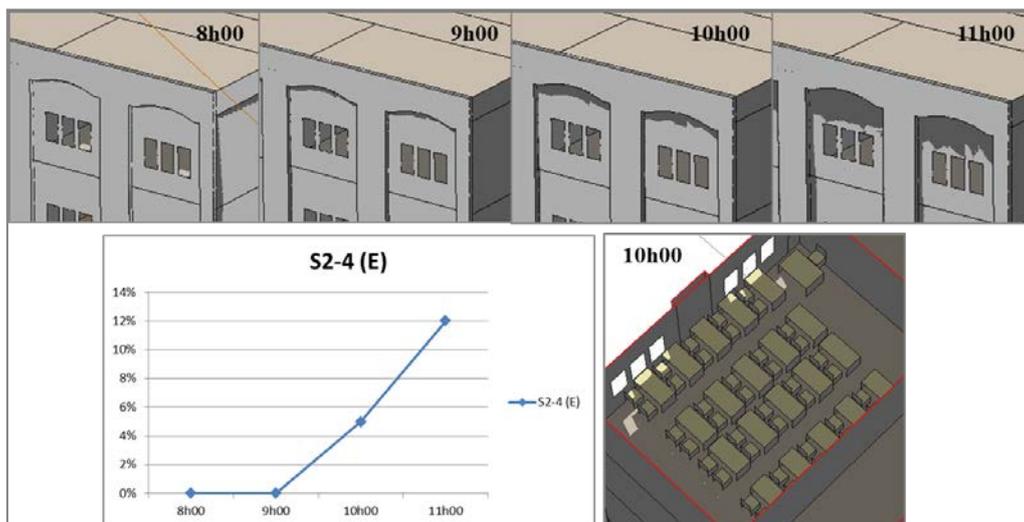


Fig VII. 47 : Ombrage des façades Est de la salle de classe S2-4  
(Source : Auteur)

Après cette présentation, nous allons vérifier l'efficacité des deux types de protections solaires à savoir les lames horizontales et les lames verticales pour les trois orientations (Sud, Ouest et Est).

#### VII.6.4 Lames horizontales :

Dans ce cas présenté, la profondeur des lames est égale à leur équidistance (50 cm). Ces lames horizontales sont efficaces en orientation Sud. Elles offrent une bonne protection en empêchant les rayons solaires d'atteindre la façade et de pénétrer à l'intérieur.

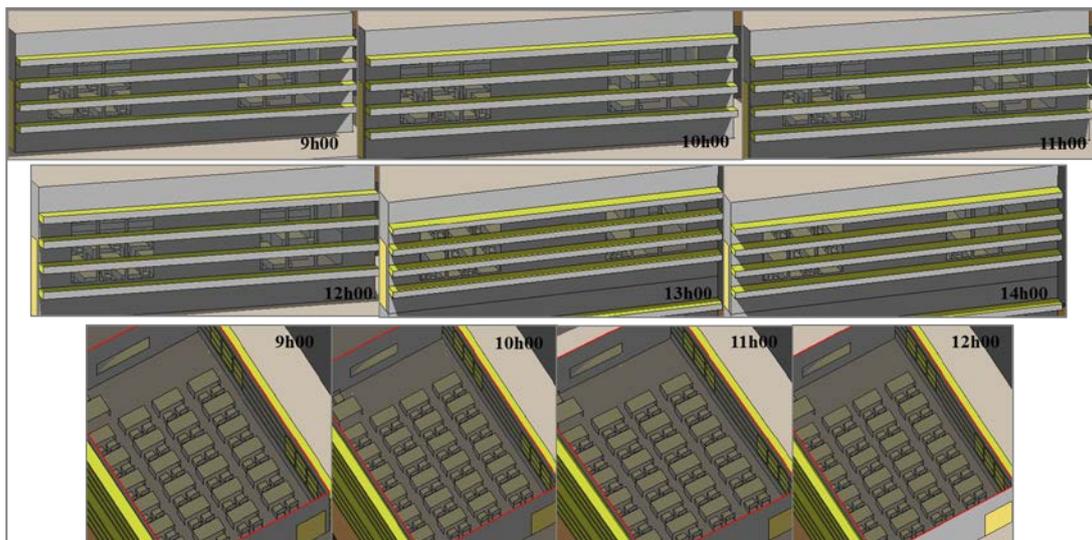


Fig VII. 48 : Ombre de la façade Sud de la salle de classe S1-9 pour le cas des lames horizontales  
(Source : Auteur)

Elles sont moins efficaces en orientation Est et surtout Ouest, elles permettent aux rayons solaires d'atteindre les façades et même de pénétrer à l'intérieur.

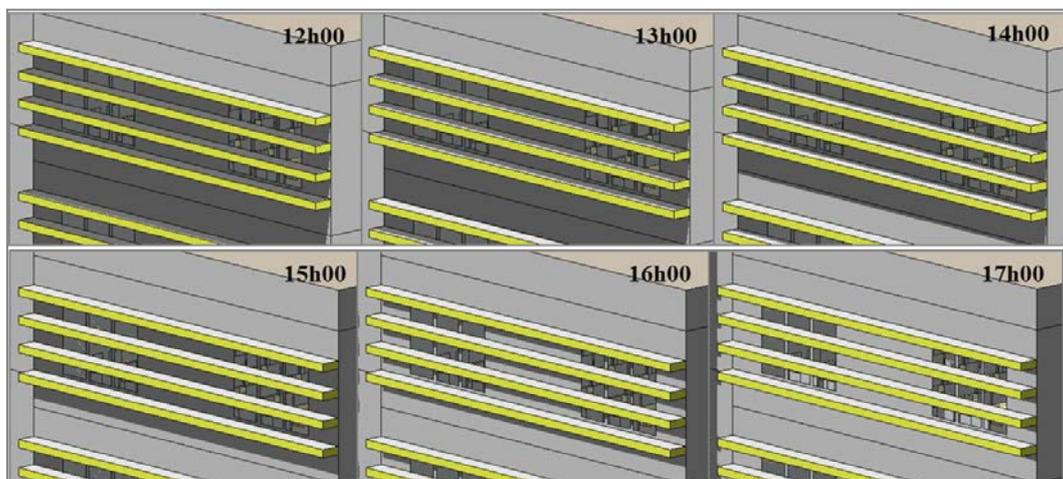


Fig VII. 49 : Ombre de la façade Ouest de la salle de classe S1-1 pour le cas des lames horizontales  
(Source : Auteur)

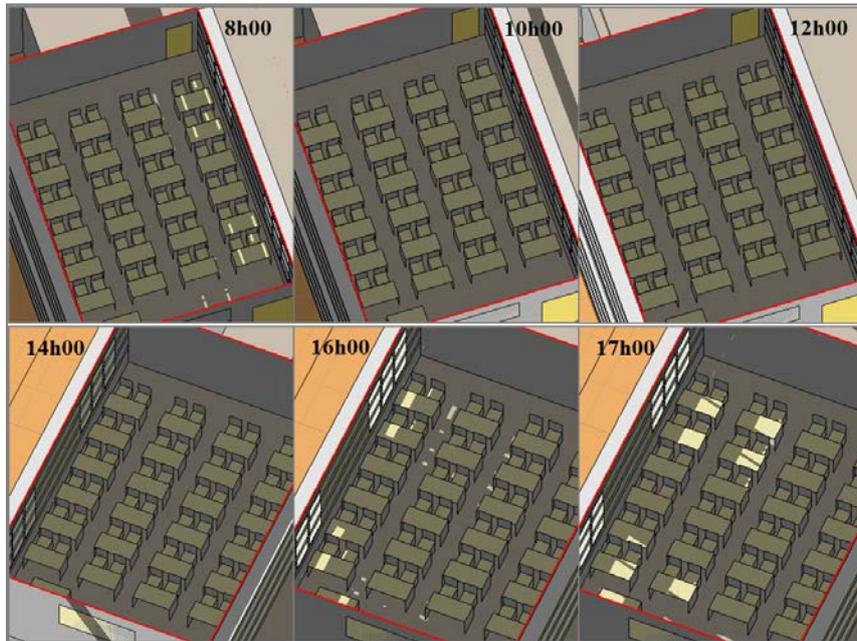


Fig VII. 50 : taches solaires à l'intérieur de la salle de classe S1-1 pour le cas des lames horizontales (Source : Auteur)

### VII.6.5 Lames verticales :

Pour ce cas, aussi, la profondeur des lames est égale à leur équidistance (80 cm). Les lames verticales sont peu efficaces pour les trois orientations. Elles permettent aux rayons solaires d'atteindre les façades et l'intérieur des salles formant des taches solaires.

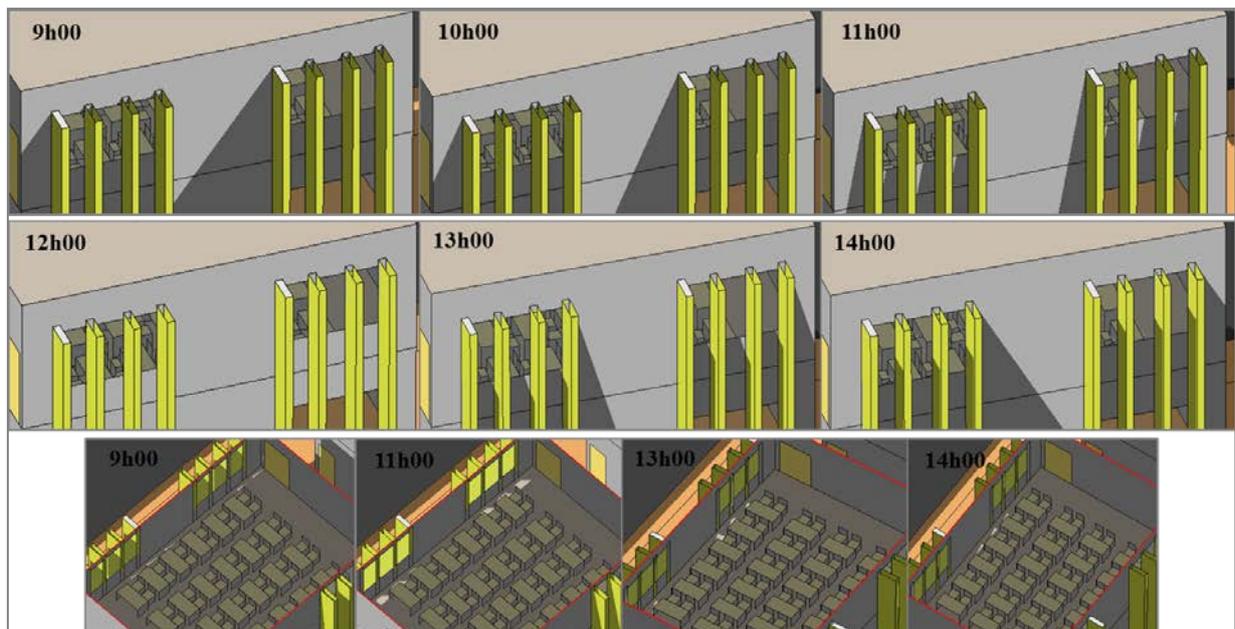


Fig VII. 51 : Ombrage de la façade Sud de la salle de classe S1-9 pour le cas des lames verticales (Source : Auteur)

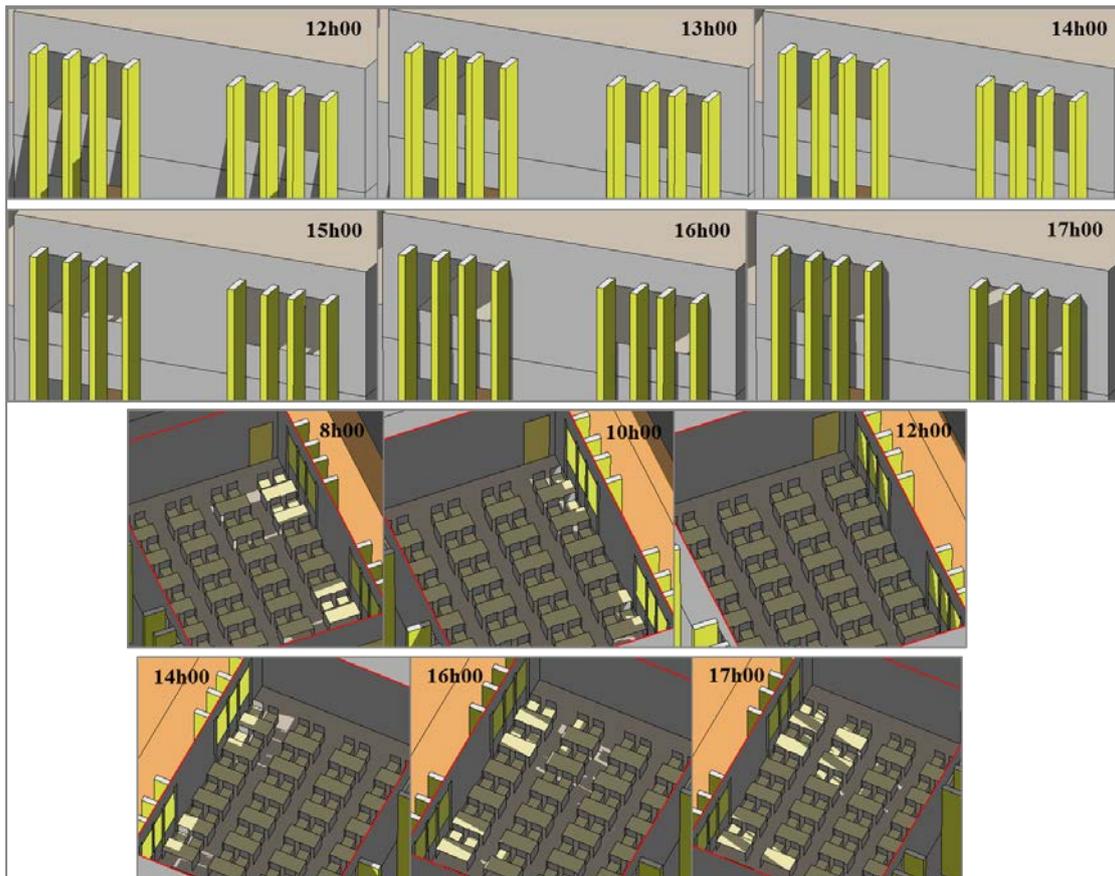


Fig VII. 52 : Ombrage de la façade Ouest de la salle de classe S1-1 pour le cas des lames verticales  
(Source : Auteur)

Donc, contrairement aux orientations Est et surtout Ouest, l'orientation Sud paraît la plus facile à protéger contre les rayons solaires.

Ainsi, les protections solaires horizontales (auvent, lames horizontales) sont très efficace en orientations Sud et moins efficace en orientations Est et Ouest. Cependant, les protections solaires verticales (lames verticales) sont moins efficaces pour les trois orientations.

## VII.7 Comparaison entre les typologies des blocs d'enseignement :

Dans cette partie, nous allons présenter un récapitulatif de comparaison entre les trois typologies différentes retenues des blocs d'enseignement. Les caractéristiques de chacune des typologies sont présentées dans le tableau suivant :

Typologie	Typologie 01	Typologie 02	Typologie 03
<b>Bloc</b>	BI (S1-8, S1-9, S1-10, S1-11)	BIV (S4-1, S4-2, S4-3, S4-4, S4-5, S4-6, S4-7, S4-8)	BVI (S6-1, S6-2, S6-3, S6-4)
<b>Organisation des salles de classe</b>	Mono-rangée	Double rangée	Double rangée
<b>Espaces de distribution</b>	Galerie latérale	Corridor central	Corridor central muni d'éclairage zénithal
<b>Ouvertures</b>	Bilatérales	Bilatérales	Unilatérale (pour 03 salles) et bilatérales (pour 01 salle)
<b>Orientation des salles de classe</b>	- Nord (S1-8, S1-9, S1-10, S1-11). - La 2 <sup>ème</sup> façade contenant des ouvertures est orientée vers le Sud	- Nord (S4-1, S4-2, S4-3, S4-4) - Sud (S4-5, S4-6, S4-7, S4-8)	- Nord (S6-1, S6-2) - Sud (S6-3, S6-4) - La deuxième façade dotée d'ouvertures (S6-2) est orientée vers l'Est
<b>Nombre des typologies des salles de classe</b>	01 typologie	04 typologies	04 typologies

Tableau VII. 1 : Les caractéristiques des typologies des blocs d'enseignement  
(Source : Auteur)

Chaque typologie des blocs d'enseignement représente un facteur d'ombrage total qui est la moyenne des facteurs d'ombrage des différentes typologies de salles de classe composant le bloc d'enseignement.

- La typologie 01 : 92% (toutes les salles de classe ont le même facteur d'ombrage) ;
- La typologie 02 : 55% ; moyenne des valeurs : 55% pour T(IV-1), 69% pour T(IV-2), 45% pour T(IV-3) et 51% pour T(IV-4) ;
- La typologie 03 : 68% ; moyenne des valeurs : 65% pour T(VI-1), 63% pour T(VI-2) et 73% pour T(VI-3) et T(VI-4).

Donc, la typologie 01 des blocs d'enseignement représente le pourcentage le plus important d'ombrage.

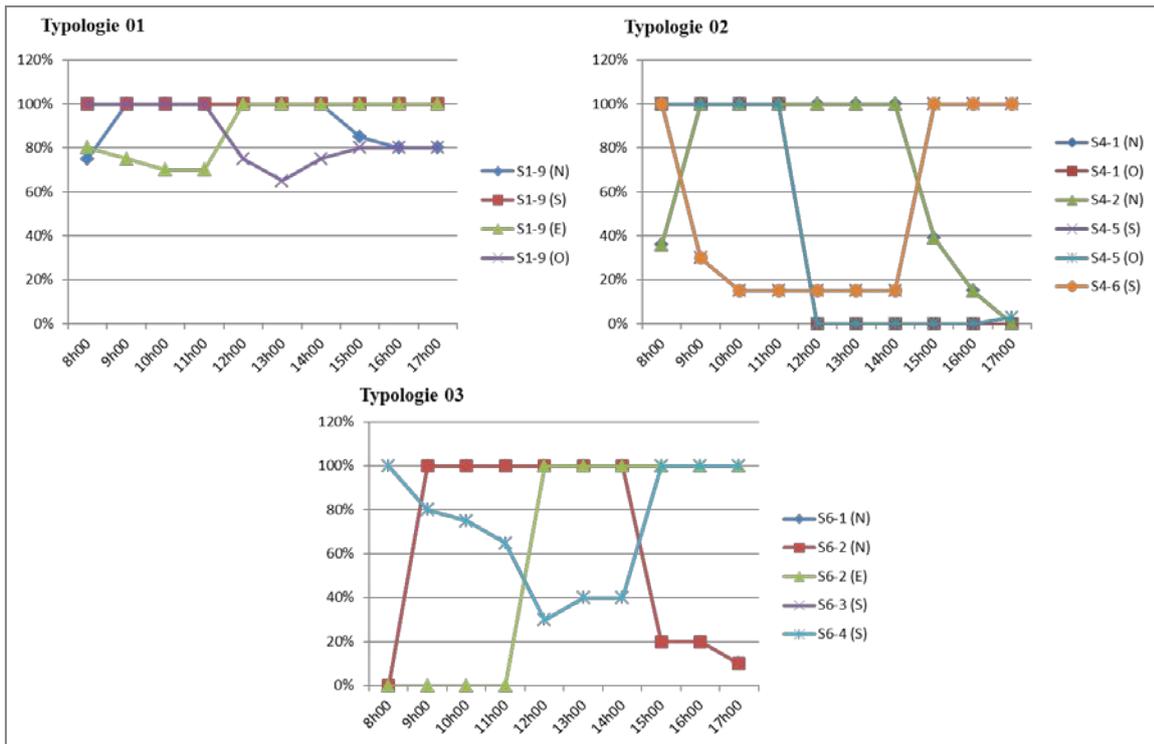


Fig VII. 53 : Facteurs d'ombrage des trois typologies des blocs d'enseignement (Source : Auteur)

D'un autre côté, l'exposition des ouvertures au rayonnement solaire direct implique la formation des taches solaires à l'intérieur des salles de classe.

Les salles de classe de la typologie 01 sont le siège de la formation des taches solaires vers la fin de la durée d'occupation sur le côté Nord. Ces taches n'atteignent qu'une petite surface des salles de classe (quelques tables de la première rangée).

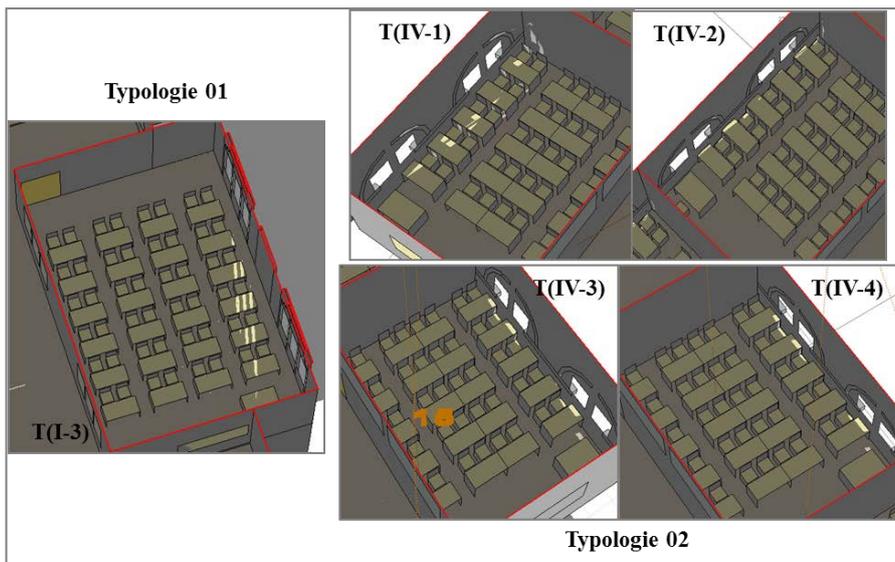


Fig VII. 54 : Répartition des taches solaires à l'intérieur des salles de classe des typologies 01 et 02 des blocs d'enseignement (Source : Auteur)

Pour la typologie 02 :

- Des taches solaires vers la fin de la durée d'occupation (sur le côté Nord) pour les typologies des salles de classe T(IV-1) et T(IV-2). Ces taches sont plus importantes pour la T(IV-1), mais, elles restent d'un impact minime ;
- Des taches solaires touchant une surface très réduite de la première rangée (sur le côté Sud) pour les typologies de salles de classe T(IV-3) et T(IV-4) pendant une courte durée de la période matinale.

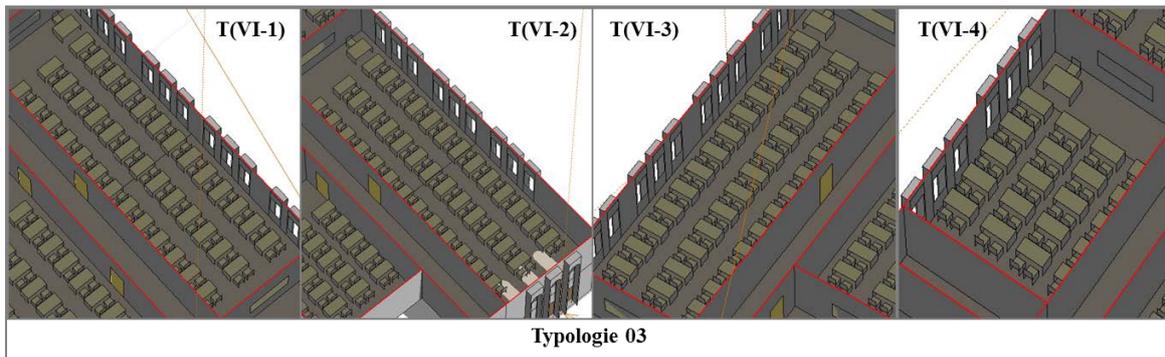


Fig VII. 55 : Répartition des taches solaires à l'intérieur des salles de classe de la typologie 03 des blocs d'enseignement (Source : Auteur)

Pour la typologie 03, les taches solaires ont lieu dans la salle de classe S6-2 représentant la typologie T(VI-2) sur le côté Est. Par rapport à la surface totale de la salle de classe, ces taches n'occupent qu'une surface minimale et pour une courte durée.

Donc, les taches solaires formées dans les trois typologies peuvent porter un effet négatif sur les étudiants (éblouissement, ombre projetée). Cependant, cet effet est limité et faible.

En outre, la lumière solaire pénétrante et la lumière diffuse permettent l'éclairage des salles de classe. Cette lumière est répartie de différentes manières d'une typologie à une autre. Son répartition divise les salles de classe de chaque typologie en zones distinctes :

- Pour la typologie 01 : une première zone situant près des ouvertures et se caractérisant par des valeurs élevées du FLJ (6 – 20%) et une deuxième avec des valeurs moyennes du FLJ couvre le centre des salles de classe ;
- Pour la typologie 02 : la première zone, délimitant la partie à proximité des ouvertures sur les façades principales et s'étale jusqu'à la moitié des salles de classe, se caractérise par des valeurs élevées du FLJ (7 -21%) et la seconde zone couvre l'autre moitié avec des valeurs moyennes du FLJ (3 -5%) ;

- Pour la typologie 03 : la répartition de la lumière naturelle divise les salles de classe en trois zones ; la première avec des valeurs élevées du FLJ situant près des ouvertures (7 - 19%), la deuxième avec des valeurs moyennes (3 - 5%) couvrant la partie centrale des salles et la troisième avec un faible FLJ (inférieur à 2%) délimitant la partie la plus éloignée des ouvertures.

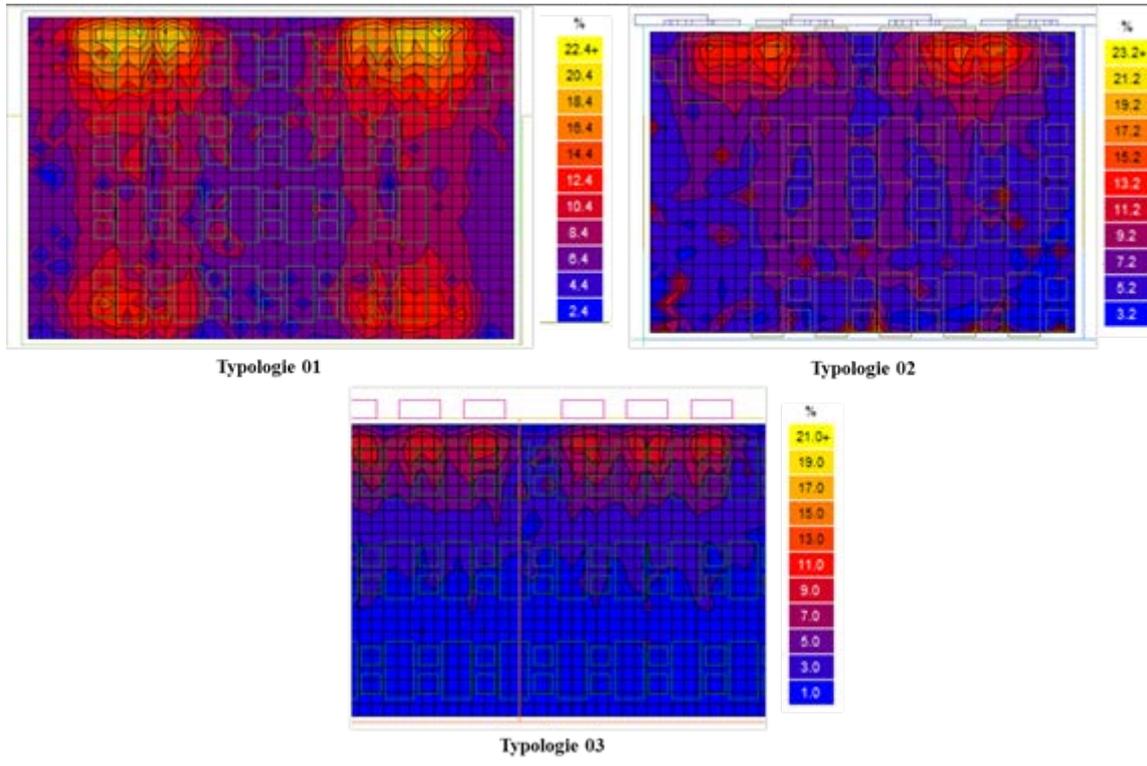


Fig VII. 56 : Répartition du facteur de lumière du jour FLJ à l'intérieur des trois typologies des blocs d'enseignement (Source : Auteur)

La lumière naturelle se répartit, donc, d'une manière hétérogène dans les trois typologies. Cette hétérogénéité est plus claire pour la typologie 03 qui se caractérise par un éclairage unilatéral. En outre, les zones à proximité des ouvertures, pour les trois typologies, peuvent présenter un problème d'éblouissement.

## VII.8 Synthèse :

Le tableau suivant présente la synthèse des tous les résultats obtenus :

<b>SALLE DE CLASSE</b>			
	<b>Paramètre</b>	<b>Influence</b>	<b>Pourquoi ?</b>
<b>Proportion</b>	Ensoleillement de l'enveloppe	Oui	L'augmentation de la profondeur et/ou la largeur implique l'augmentation de la surface exposée au rayonnement solaire et ainsi la quantité du rayonnement solaire reçu.
	Taches solaires	Oui	L'augmentation de la profondeur et/ou la largeur implique l'augmentation de la surface des ouvertures et ainsi la quantité des rayons solaires pénétrant à l'intérieur.
	Eclairage naturel	Oui	L'augmentation de la profondeur et/ou la largeur implique l'augmentation de la surface des ouvertures et ainsi la quantité de la lumière naturelle pénétrante.
<b>Localisation</b>	Ensoleillement de l'enveloppe	Oui	La localisation traduit le nombre de façades libres. Plus ce nombre croît, plus la surface exposée au rayonnement solaire augmentera.
	Taches solaires	Non	Malgré la dissemblance des localisations, le pourcentage et la distribution des ouvertures restent invariables ce qui donne des taches solaires répartie de manière similaire.
	Eclairage naturel	Non	Malgré la dissemblance des localisations, le pourcentage et la distribution des ouvertures reste invariable ce qui donne une répartition similaire de la lumière naturelle.
<b>Nombre de murs pourvus d'ouvertures</b>	Ensoleillement de l'enveloppe	Oui	Dans le cas où tous les murs pourvus d'ouvertures sont exposés à l'extérieur, la surface de l'enveloppe exposée au rayonnement solaire augmentera et ainsi la quantité des rayons solaires reçus.
	Taches solaires	Oui	La dissemblance de cette variable implique une orientation et une répartition différente des ouvertures ce qui donne par la suite une quantité et une répartition différentes des taches solaires.

	Eclairage naturel	Oui	La dissemblance de cette variable implique une orientation et une répartition différentes des ouvertures. Donc, la quantité et la répartition de la lumière naturelle sera de manière différente.
<b>Pourcentage d'ouvertures</b>	Ensoleillement de l'enveloppe	Oui	Pour le cas où la surface d'ouvertures est répartie sur des façades extérieures, la surface de l'enveloppe exposée au rayonnement solaire augmentera et ainsi la quantité du rayonnement solaire reçu.
	Taches solaires	Oui	L'augmentation de la surface d'ouvertures implique une augmentation du rayonnement solaire pénétrant à l'intérieur. Donc, la quantité des taches solaires et leur répartition se diffère avec le pourcentage d'ouvertures.
	Eclairage naturel	Oui	L'augmentation de la surface d'ouvertures implique une augmentation de la lumière naturelle pénétrante. Donc, la dissemblance de la surface d'ouvertures donne une quantité et une répartition différente du facteur de la lumière du jour.
<b>Orientation de la façade principale</b>	Ensoleillement de l'enveloppe	Oui	Chaque orientation se caractérise par une durée d'exposition et une quantité reçue des rayons solaires. Donc, le changement de l'orientation implique un changement de l'exposition de l'enveloppe (durée et quantité).
	Taches solaires	Oui	Pour chaque orientation, les rayons solaires atteignent l'enveloppe avec un angle d'incidence différent, donc, la pénétration de ces rayons à l'intérieur sera différente.
	Eclairage naturel	/	Le logiciel est limité.
<b>Protection solaire</b>	Ensoleillement de l'enveloppe	Oui	Selon le type et le dimensionnement, chaque protection solaire empêche tout ou une partie du rayonnement solaire d'atteindre l'enveloppe.
	Taches solaires	Oui	Selon le type et le dimensionnement, chaque protection solaire empêche tout ou une partie du rayonnement solaire d'atteindre les parties transparentes et de pénétrer à l'intérieur.

	Eclairage naturel	Oui	La quantité et la répartition de la lumière naturelle varient selon le type et le dimensionnement de la protection solaire.
<b>BLOCS D'ENSEIGNEMENT</b>			
<b>Organisation spatiale + espaces de distribution</b>	<p>Des typologies dissemblables des blocs d'enseignement indiquent des conditions différentes de localisation, surface d'ouverture et sa distribution, orientation, protection solaire, etc. des typologies des salles de classe composant ces blocs. Ces conditions donnent, donc, des résultats différents de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- L'exposition de l'enveloppe au rayonnement solaire ;</li> <li>- Pénétration de ce rayonnement à l'intérieur (formation des taches solaires) ;</li> <li>- Pénétration et répartition de la lumière naturelle.</li> </ul>		

Tableau VII. 2 : Synthèse des résultats de la simulation d'enseillement  
(Source : Auteur)

# CHAPITRE VIII :

## EVALUATION DE LA TEMPÉRATURE INTÉRIEURE

*« Soit qu'il s'agisse, en effet,  
d'expliquer ou de prévoir, tout se  
réduit toujours à lier »*

René Descartes

## **Introduction :**

Nous avons conclu, dans le chapitre précédent, l'influence des différentes variables étudiées sur le rayonnement solaire reçu par l'enveloppe et pénétrant à l'intérieur. L'importance de ce rayonnement est en relation directe avec l'augmentation ou la diminution des valeurs de la température intérieure qui influence directement sur le maintien du confort hygrothermique. Donc, l'évaluation de ce paramètre est indispensable.

Ce chapitre présente, alors, une continuité logique du chapitre précédent. Il se focalise sur la vérification de l'impact des variables étudiées sur les niveaux de la température intérieure.

Les résultats sont, ainsi, ressorti à partir de la simulation via Ecotect® V.2011 et se rapportent à la journée de 21 juin qui représente la période chaude et à la durée d'occupation des blocs d'enseignement.

### VIII.1 Proportion de la salle de classe :

La lecture préliminaire des résultats de l'analyse de température, présentés dans les graphes ci-dessus, montre que :

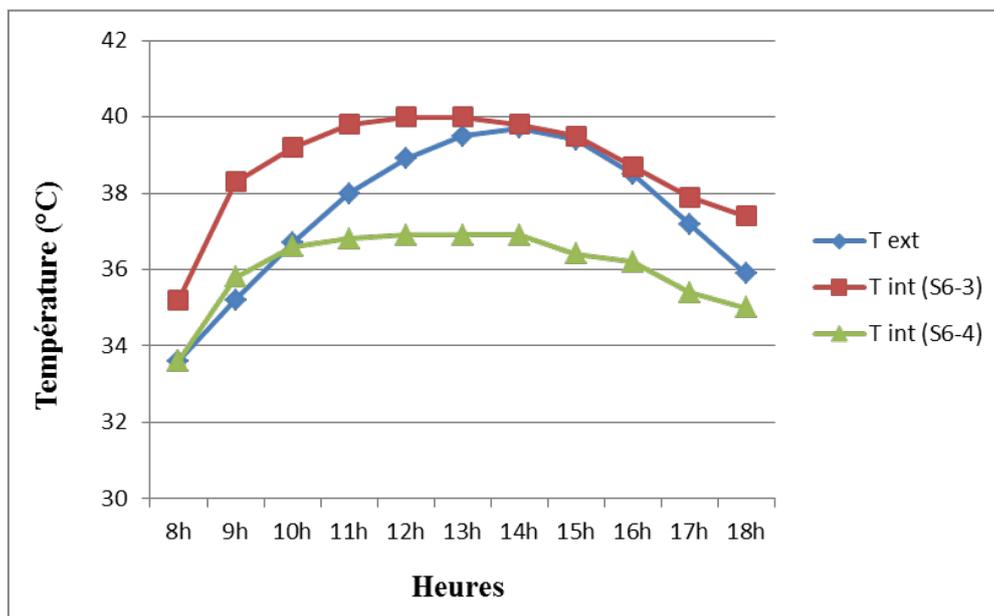


Fig VIII. 1 : Distribution journalière de la température intérieure des salles de classe S6-3 et S6-4 (Source : Auteur)

- Les courbes d'évolution temporelle de la température intérieure des deux salles de classe S6-3 et S6-4 suivent la même allure ;
- Les températures à l'intérieur des deux salles de classe ne varient pas d'une manière importante pendant la quasi-totalité de la durée d'occupation ;
- Les températures intérieures dépassent celles de l'extérieur pendant toute la durée d'occupation pour la salle S6-3 et durant la tranche horaire allant de 8h00 à 10h00 pour la salle S6-4 ;
- L'écart moyen entre la température extérieure et les températures intérieures est de 1.2°C pour S6-3 (écart maximal de 3.1°C à 9h00, et minimal de 0.1°C à 14h00) et de -1.5°C pour la salle S6-4 (écart maximal de -2.8°C à 14h00, et minimal de 0°C à 8h00) ;
- La salle S6-3 a enregistré les plus hautes valeurs de température par rapport à la salle S6-4 durant toute la durée d'occupation. L'écart moyen entre les températures des deux salles est de 2.7°C avec un écart maximal de 3.1°C enregistré à 13h00, et minimal de 1.6°C à 8h00.

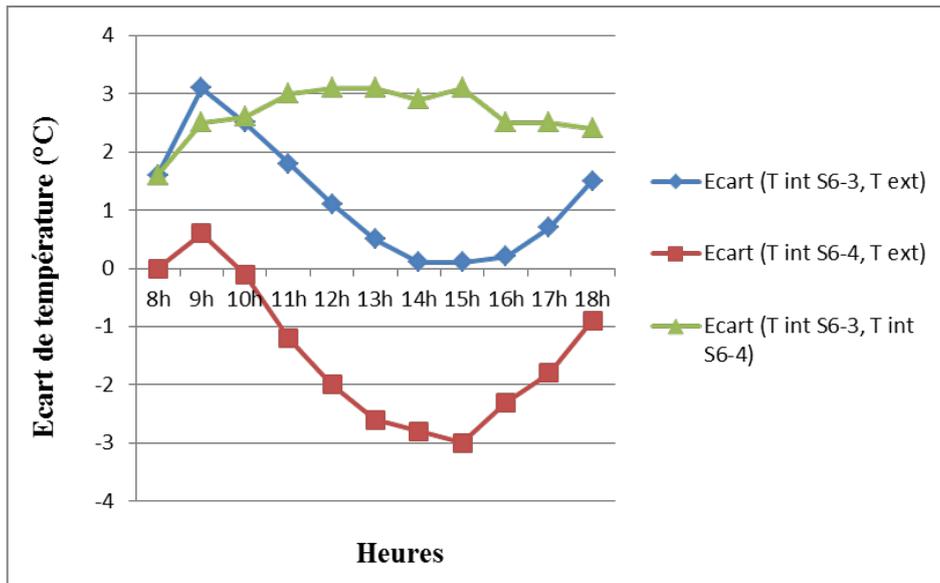


Fig VIII. 2 : Ecart journalier entre les températures extérieures et les températures intérieures des salles de classe S6-3 et S6-4 (Source : Auteur)

Il est admis que la transmission de la chaleur de l'extérieur vers l'intérieur se fait essentiellement par conduction à travers les parois, et les températures intérieures augmentent au fur et à mesure que les parois s'exposent aux radiations solaires directes. Donc, l'augmentation des températures intérieures des deux salles est occasionnée principalement par un gain direct de chaleur par absorption à travers les parois verticales opaques (murs de façade) et transparentes (fenêtres fermées) et les parois horizontales (salles situées au dernier niveau, donc, la toiture est exposée). D'autre part, l'énergie solaire transmise directement par les parois transparentes (fenêtres fermées) est une source principale de surchauffe. En outre, les gains dus à la ventilation (par fenêtres ouvertes) et les apports internes d'occupation participent aussi à l'augmentation des températures intérieures.

D'un autre côté, la hausse des températures intérieures dès les premières heures de la journée est due aux gains thermique (gains solaires directs par conduction, apports internes dus à l'occupation, gains par ventilation) produits pendant la journée précédente du fait que les ouvertures doivent être fermées après la fin de la période d'occupation ce qui élimine la possibilité de déstockage des gains thermiques par ventilation nocturne.

En outre, les valeurs les plus élevées de la température dans la salle S6-3, par rapport à la salle S6-4, sont justifiées par le fait qu'elle possède la plus grande surface exposée au rayonnement solaire direct ; parois horizontales (toiture), parois verticales opaques (mur de façade) et parois verticales transparentes (fenêtres) engendrant des gains thermiques importantes.

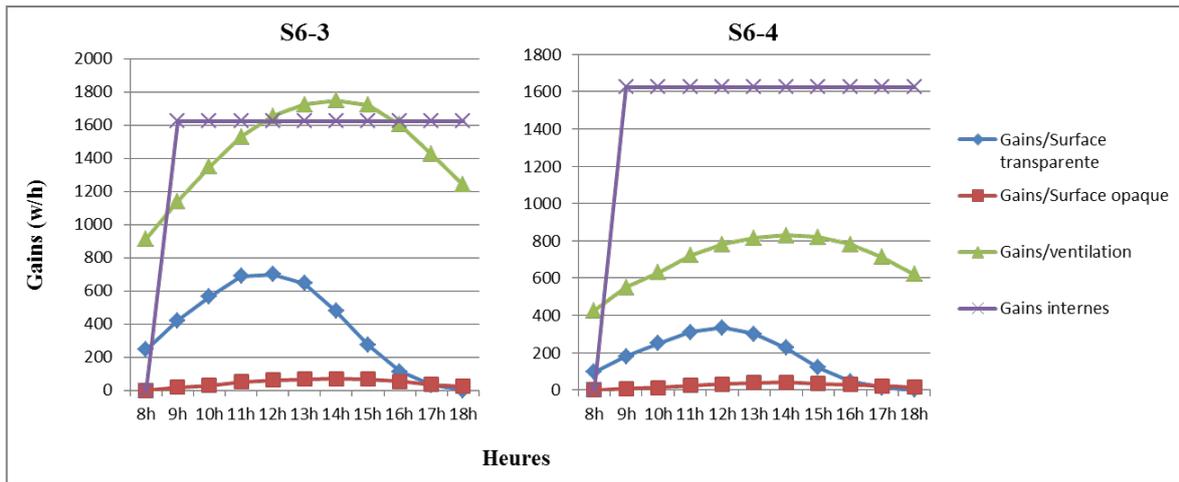


Fig VIII. 3 : Gains thermiques dans les salles de classe S6-3 et S6-4  
(Source : Auteur)

La typologie qui présente une profondeur plus importante est celle qui reçoit plus de gains thermique et par la suite des valeurs plus élevées de température intérieure. Donc, la dissemblance des proportions des salles de classe implique une différence des températures intérieures.

## VIII.2 Localisation de la salle de classe :

Les résultats de cette partie de simulation représentent une comparaison entre différentes localisations de salles de classe afin d'arriver à une synthèse relevant l'importance de l'influence de ce paramètre sur la température intérieure.

L'échantillon choisi permet une comparaison entre :

- Localisation 04 et localisation 03 : 1<sup>er</sup> cas (S1-1, S1-4) ;
- Localisation 02 et localisation 01 : 2<sup>ème</sup> cas (S4-5, S4-6).

Les différents résultats, présentés dans les graphes qui suivent, montrent que :

- Les courbes représentant l'évolution temporelle de la température intérieure :
  - Suivent la même allure d'évolution à partir de 8h00 jusqu'à 11h00 et se superposent pour le reste de la durée d'occupation (l'écart tend vers le zéro), pour le 1<sup>er</sup> cas ;
  - Se superposent de 8h00 à 11h00 et suivent la même allure d'évolution temporelle à partir de 12h00, pour le 2<sup>ème</sup> cas.
- Les températures intérieures dans les différentes salles de classe ne varient pas d'une manière remarquable. Elles sont plus élevées que celles de l'extérieur pendant :

- Toute la durée d'occupation, pour le 1<sup>er</sup> cas, avec un écart moyen de l'ordre de 3.6°C pour S1-1 (écart maximal de 6.1°C à 9h00 et minimal de 2.2°C à 14h00) et de 3.4°C pour S1-4 (écart maximal de 5.5°C à 9h00 et minimal de 2.2°C à 14h00) ;

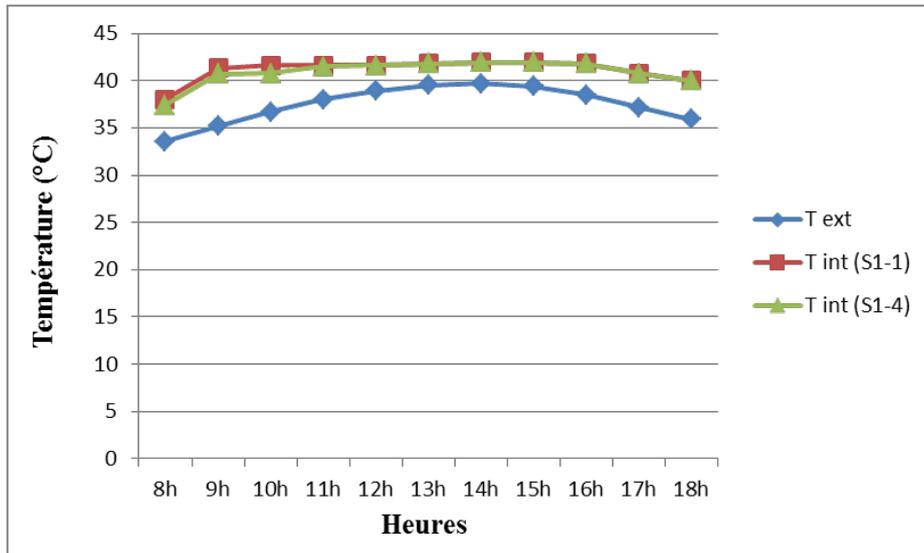


Fig VIII. 4 : Distribution journalière de la température extérieure et la température intérieure des salles de classe S1-1 et S1-4 (Source : Auteur)

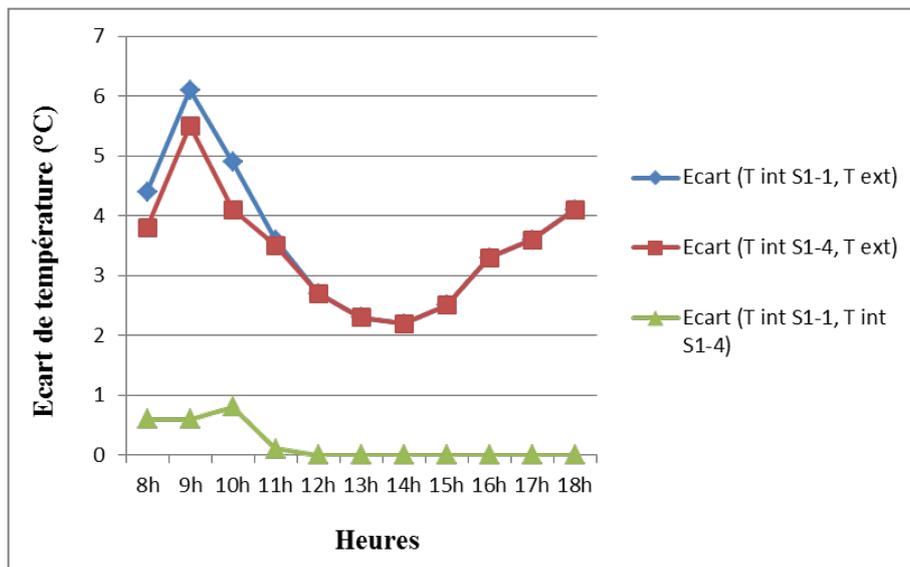


Fig VIII. 5 : Ecart journalier entre les températures extérieures et les températures intérieures des salles de classe S1-1 et S1-4 (Source : Auteur)

- De 8h00 à 10h00, pour le 2<sup>ème</sup> cas, marquant un écart moyen de -0.9°C pour la salle S4-5 (écart maximal de -2.2°C à 14h00 et minimal de 0°C à 10h00) et de -1.2°C pour la salle S4-6 (écart maximal de -2.6°C à 14h00 et minimal de 0°C à 10h00).

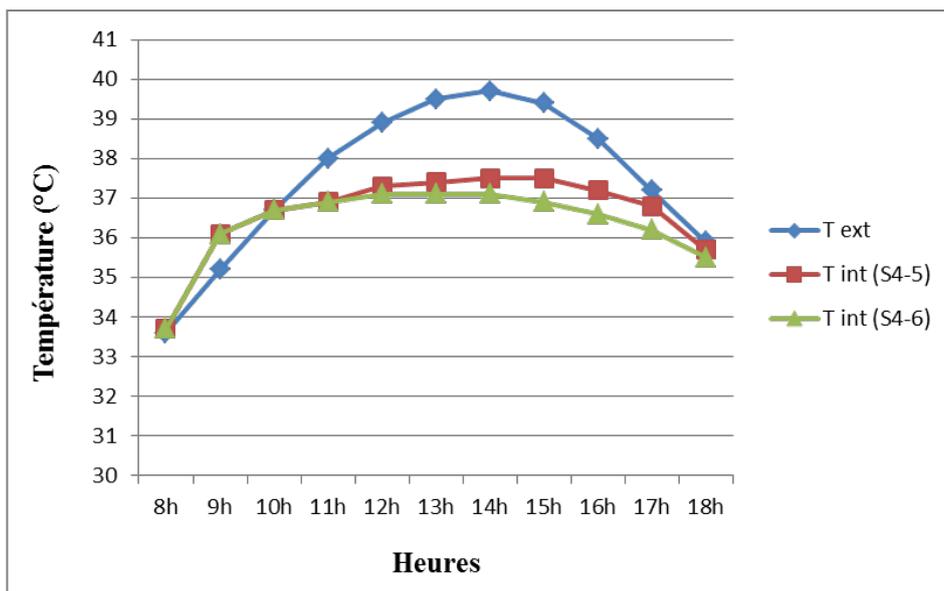


Fig VIII. 6 : Distribution journalière de la température extérieure et la température intérieure des salles de classe S4-5 et S4-6 (Source : Auteur)

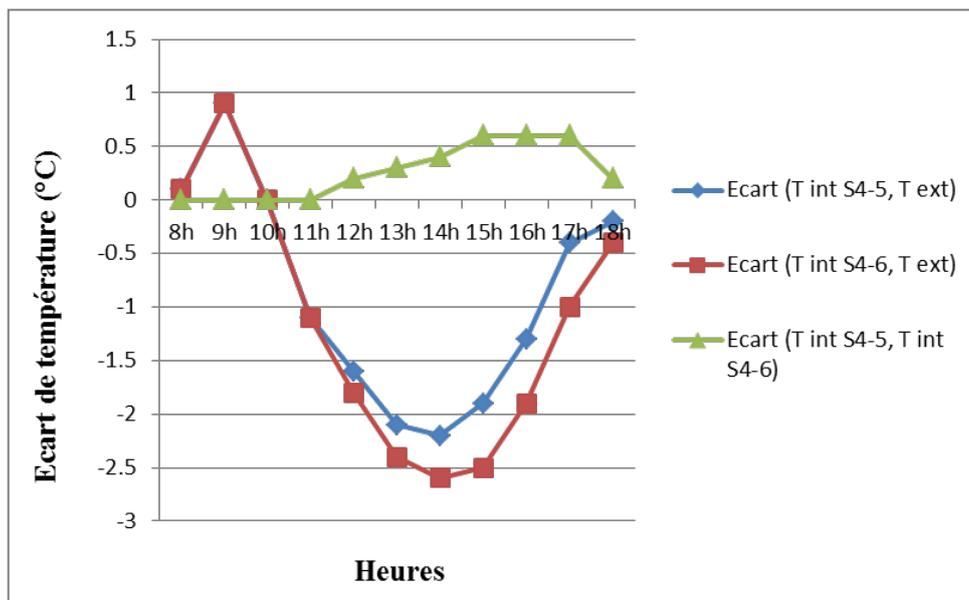


Fig VIII. 7 : Ecart journalier entre les températures extérieures et les températures intérieures des salles de classe S4-5 et S4-6 (Source : Auteur)

- Les salles de classe S1-1 et S4-5 ont enregistré des valeurs plus élevées que celles des salles S1-4 et S4-6. Cependant, l'écart le plus important de température est marqué dans le 2<sup>ème</sup> cas. Pour rappel, la localisation traduit le nombre des façades libres (en contact avec l'extérieur) qu'elle possède la salle de classe.

Les résultats cités ci-dessus sont justifiés par trois points importants : orientation de la façade libre supplémentaire, sa surface et sa protection solaire.

Sur cette base, les résultats sont expliqués comme suit :

- Pour le 1<sup>er</sup> cas (S1-1, S1-4) : la façade supplémentaire est orientée vers le Sud (la différence entre les températures pour la période matinale). Elle est protégée, pour une partie, par une autre salle de classe d'un côté et par la galerie d'un autre côté (facteur d'ombrage de 64%), et elle ne dispose pas d'une surface importante. Ces points impliquent un supplément des gains thermique minime pour la salle S1-1, et donc, la différence de température n'est pas très marquée.

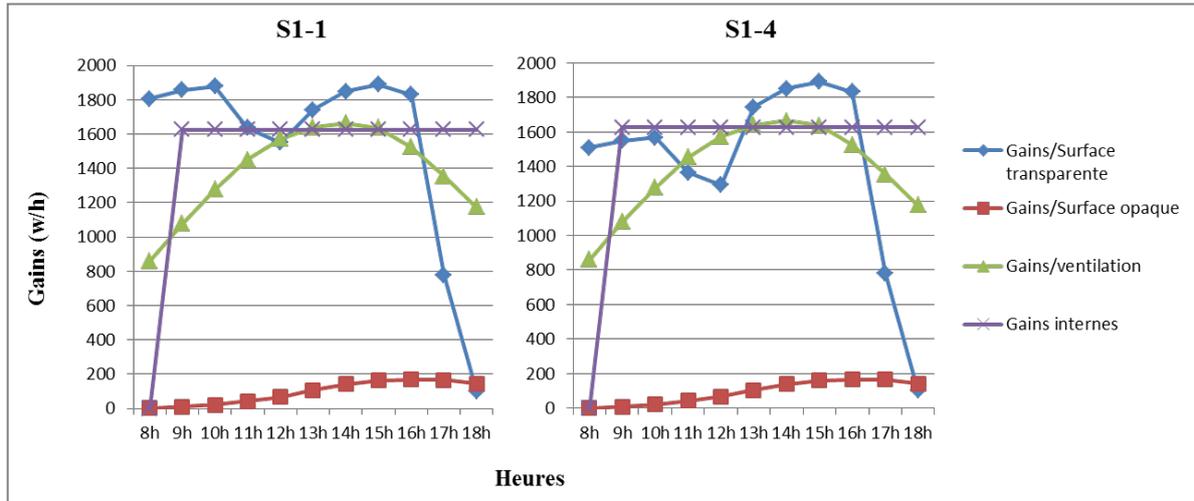


Fig VIII. 8 : Gains thermiques dans les salles de classe S1-1 et S1-4 (Source : Auteur)

- Pour le 2<sup>ème</sup> cas (S4-5, S4-6) : la façade libre supplémentaire est orientée vers l'Ouest, elle est totalement exposée (elle ne possède pas d'une protection solaire) présentant un facteur d'ombrage de 40%, ce qui implique des gains solaires remarquables et par conséquent une augmentation de la température intérieure.

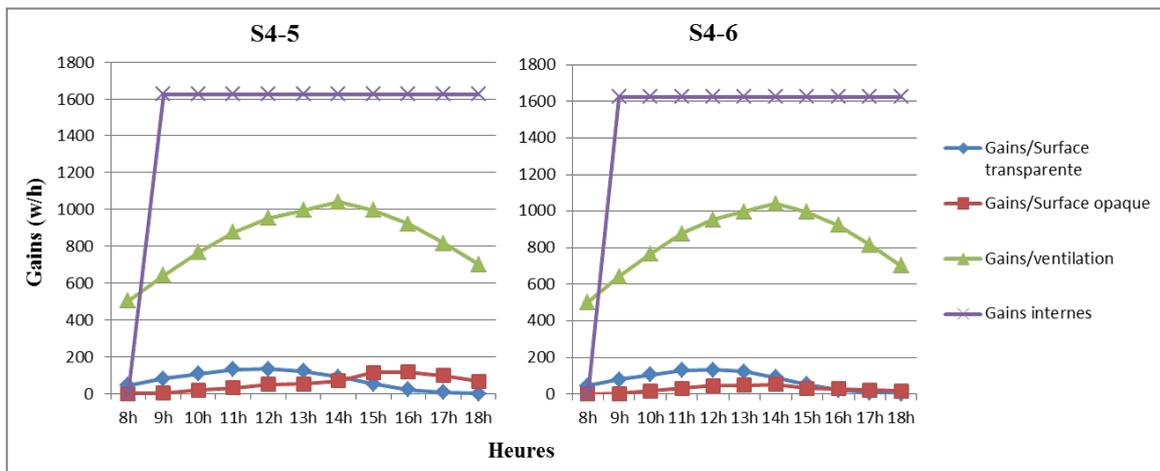


Fig VIII. 9 : Gains thermiques dans les salles de classe S4-5 et S4-6 (Source : Auteur)

Donc, quelque soit le cas, et malgré la différence des chiffres, la typologie possédant le plus grand nombre de façades libres présente toujours un surplus de gains thermiques par rapport à l'autre typologie. Ce surplus de gains thermique, en rapport avec leur ampleur, implique une augmentation de la température intérieure.

### VIII.3 Nombre de murs pourvus d'ouvertures :

Une première lecture des résultats montre que :

- Les courbes d'évolution temporelle de la température intérieure des deux salles S6-1 et S6-2 suivent la même allure ;
- Les températures intérieures ne varient pas d'une manière remarquable pendant la majeure partie de la durée d'occupation, elles sont plus élevées que celles de l'extérieur pendant la matinée et à partir de 16h30. L'écart moyen enregistré entre les températures intérieures et les températures extérieures est de l'ordre de  $0.1^{\circ}\text{C}$  pour la salle S6-1 (écart maximal de  $-1.3^{\circ}\text{C}$  à 14h00 et minimal de  $0.2^{\circ}\text{C}$  à 11h00) et de  $0.5^{\circ}\text{C}$  pour la salle S6-2 (écart maximal de  $3^{\circ}\text{C}$  à 9h00 et minimal de  $0.1^{\circ}\text{C}$  à 12h00) ;
- La salle de classe S6-2 a enregistré des valeurs plus élevées de température par rapport à la salle S6-1 pendant la quasi-totalité de la durée d'occupation avec un écart moyen de  $0.5^{\circ}\text{C}$ .

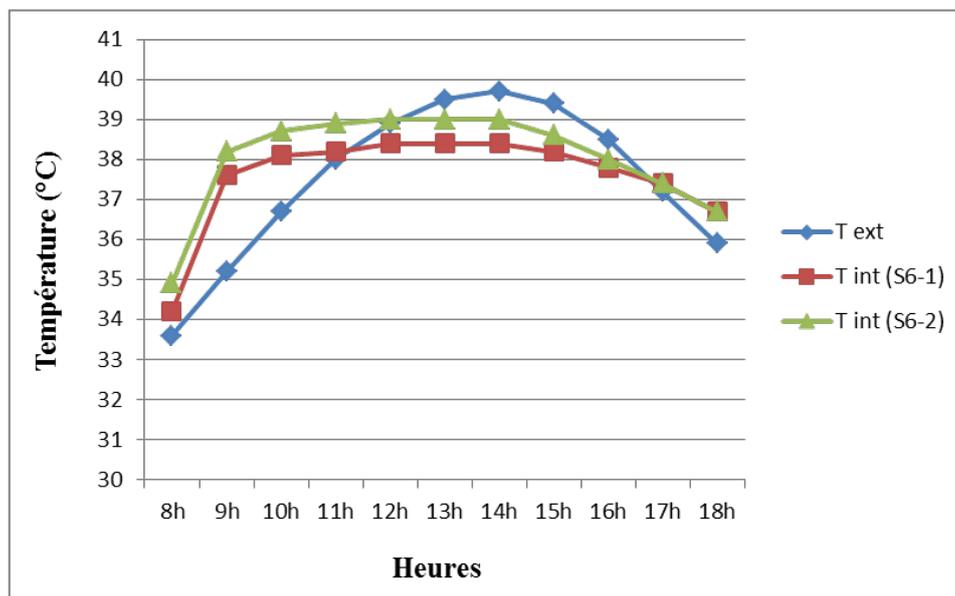


Fig VIII. 10 : Distribution journalière de la température extérieure et la température intérieure des salles de classe S6-1 et S6-2 (Source : Auteur)

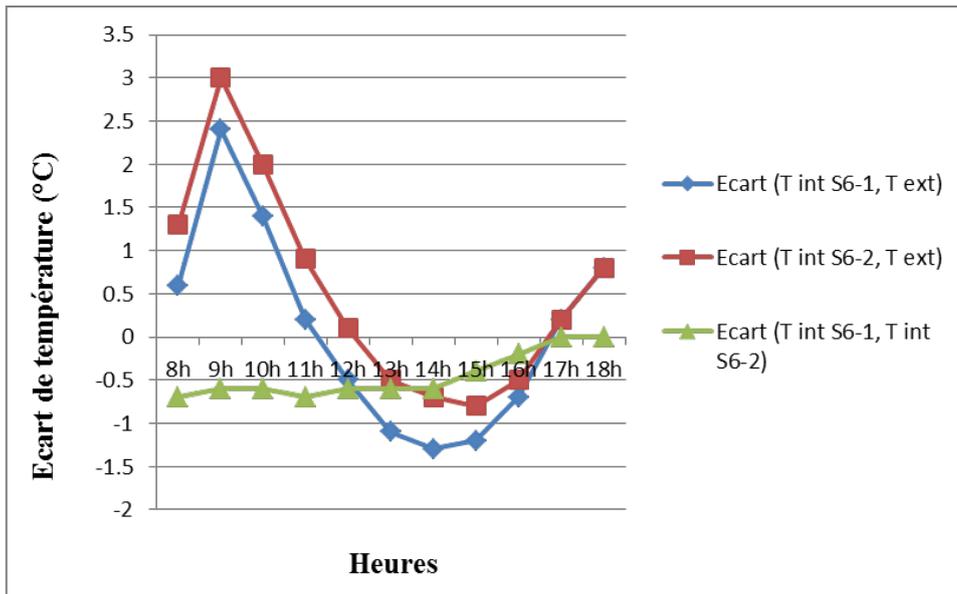


Fig VIII. 11 : Ecart journalier entre les températures extérieures et les températures intérieures des salles de classe S6-1 et S6-2 (Source : Auteur)

Ces constats et chiffres présentés ci-dessus sont justifiés par le fait que la paroi supplémentaire pourvue d’ouvertures est exposée vers l’extérieur avec une orientation Est, ce qui implique par la suite :

- Des gains thermiques par conduction à travers les parties opaques ;
- Des gains thermiques occasionnés par l’énergie solaire soit transmise directement soit absorbée puis transmise par les ouvertures.

Donc, la salle S6-3 s’est caractérisée par la quantité des gains thermiques la plus élevée et spécialement pour la période matinale.

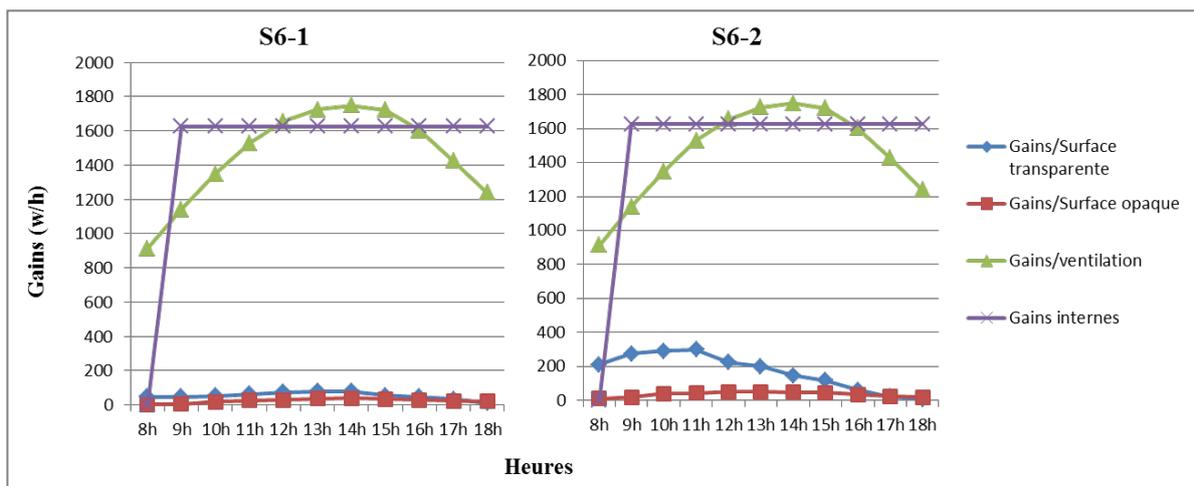


Fig VIII. 12 : Gains thermiques dans les salles de classe S6-1 et S6-2 (Source : Auteur)

La différence du nombre des murs pourvus d'ouvertures donne, pour résultat, une différence dans l'orientation de ces ouvertures, ce qui occasionne des gains thermiques dissemblables. Ces gains sont en rapport avec la durée d'exposition des ouvertures aux rayons solaires directs.

### VIII.4 Pourcentage d'ouvertures :

La lecture des graphes, traduisant les résultats, fait ressortir que :

- Les courbes d'évolution de la température intérieure suivent la même allure d'évolution temporelle ;
- Les températures intérieures dans les deux salles de classe ne varient pas d'une manière très remarquable. Elles excèdent celles de l'extérieur :
  - Pendant toute la durée d'occupation, pour la salle S1-4, en enregistrant un écart moyen de 3.4°C (écart maximal de 5.5°C à 9h00 et minimal de 2.2°C à 14h00) ;
  - A partir 8h00 jusqu'à 11h00 et vers la fin de la durée d'occupation, pour la salle S2-2, marquant un écart moyen de 0.4°C (écart maximal de 2.3°C à 9h00 et minimal de 0°C à 15h00).

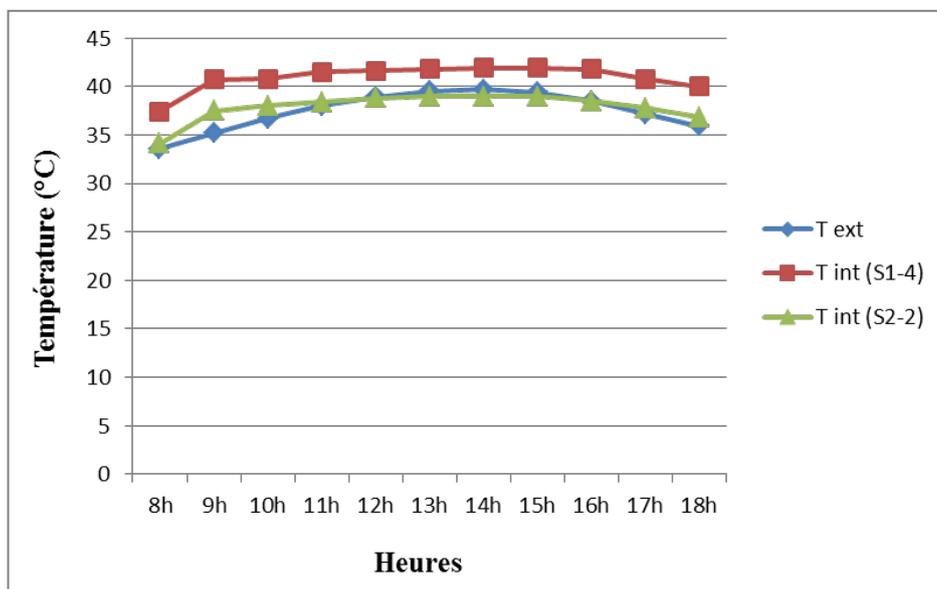


Fig VIII. 13 : Distribution journalière de la température extérieure et la température intérieure des salles de classe S1-4 et S2-2 (Source : Auteur)

- La salle de classe S1-4 a enregistré des valeurs plus élevées de températures par rapport à la salle S2-2 avec un écart moyen de 3°C.

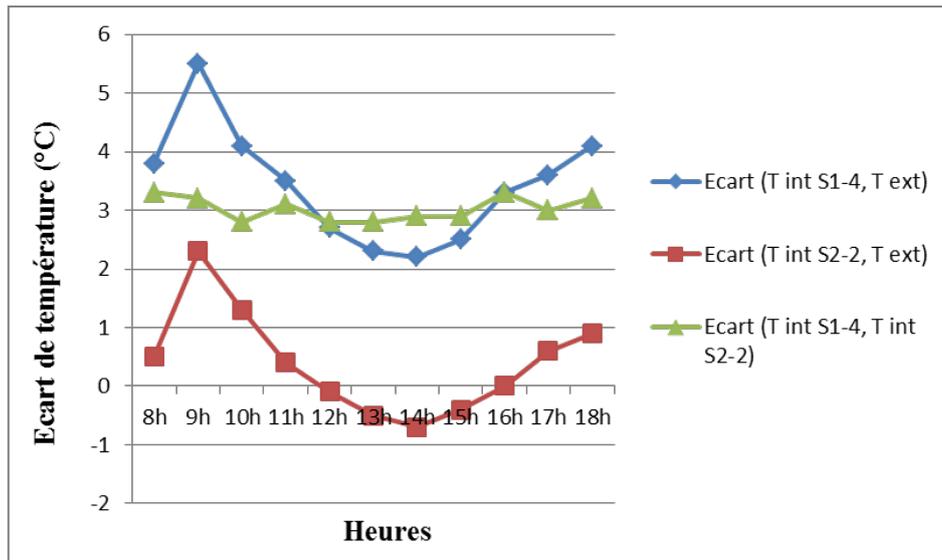


Fig VIII. 14 : Ecart journalier entre les températures extérieures et les températures intérieures des salles de classe S1-4 et S2-2 (Source : Auteur)

La salle S1-4 s’est caractérisée par les valeurs les plus élevées de la température intérieure par rapport à la salle S2-2 (avec un écart moyen de 3°C). Cette différence marquée est justifiée par la différence du pourcentage d’ouvertures exprimé par le rapport « Surface ouvertures / Surface plancher » (19.51% qui correspond à 14.96 m<sup>2</sup> pour S1-4 et 8.83% correspondant à 5.40 m<sup>2</sup> pour S2-2). Donc, cette surface plus importante des ouvertures implique logiquement un gain solaire important (rayonnement transmis directement par fenêtres fermées et chaleur transmise par l’air chaud pénétrant à l’intérieur par fenêtres ouvertes) d’autant plus qu’elles sont orientées Ouest (8.16 m<sup>2</sup>) et Est (6.8 m<sup>2</sup>).

Pour résumer, plus le pourcentage d’ouvertures est important, plus la quantité des gains thermiques s’augmente. Ainsi, cette augmentation est proportionnelle avec l’orientation de ces ouvertures.

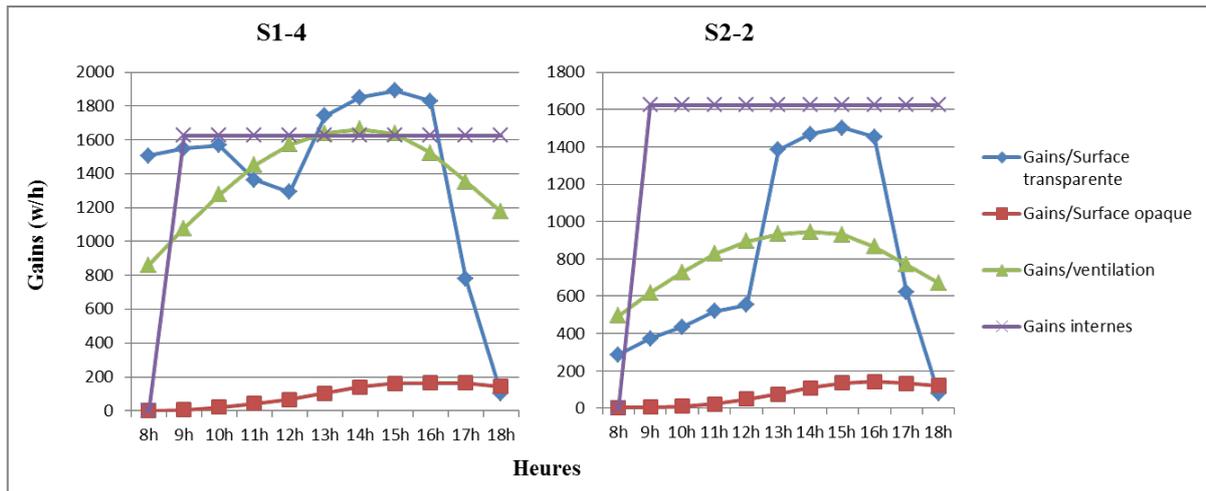


Fig VIII. 15 : Gains thermiques dans les salles de classe S2-2 et S1-4  
(Source : Auteur)

### VIII.5 Orientation de la façade principale :

L'échantillon choisi, pour cette série de simulations, nous permet une comparaison entre les orientations suivantes :

- Ouest / Nord : S1-1 / S1-9 ;
- Ouest / Sud : S2-1 / S6-4 ;
- Ouest / Est : S2-2 / S2-4 ;
- Nord / Sud : (S3-5 / S3-6), (S4-1 / S4-5).

Les résultats, montrés à travers les graphes ci-après, nous montrent que :

- Les températures intérieures ne varient pas d'une manière importante. Elles sont inférieures que celles de l'extérieur pendant :
  - Toute la durée d'occupation pour la salle S3-5 avec un écart moyen de  $-1.9^{\circ}\text{C}$  (écart maximal de  $-3.4^{\circ}\text{C}$  à 14h00 et minimal de  $0^{\circ}\text{C}$  à 9h00) ;
  - La majeure partie de la durée d'occupation pour la salle S3-6 avec un écart moyen de  $-1.6^{\circ}\text{C}$  (écart maximal de  $-3^{\circ}\text{C}$  à 15h00 et minimal de  $0^{\circ}\text{C}$  à 17h00).

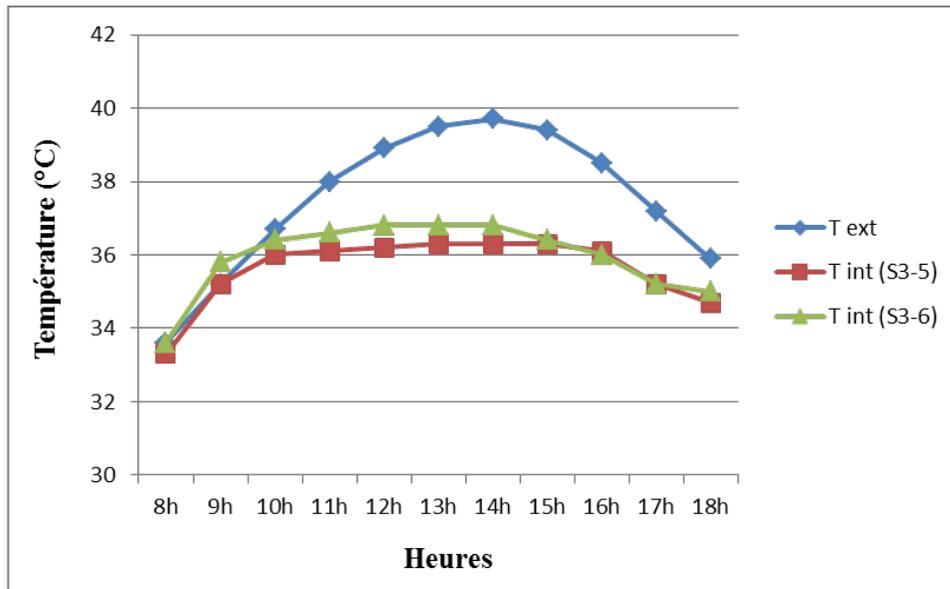


Fig VIII. 16 : Distribution journalière de la température extérieure et la température intérieure des salles de classe S3-5 et S3-6 (Source : Auteur)

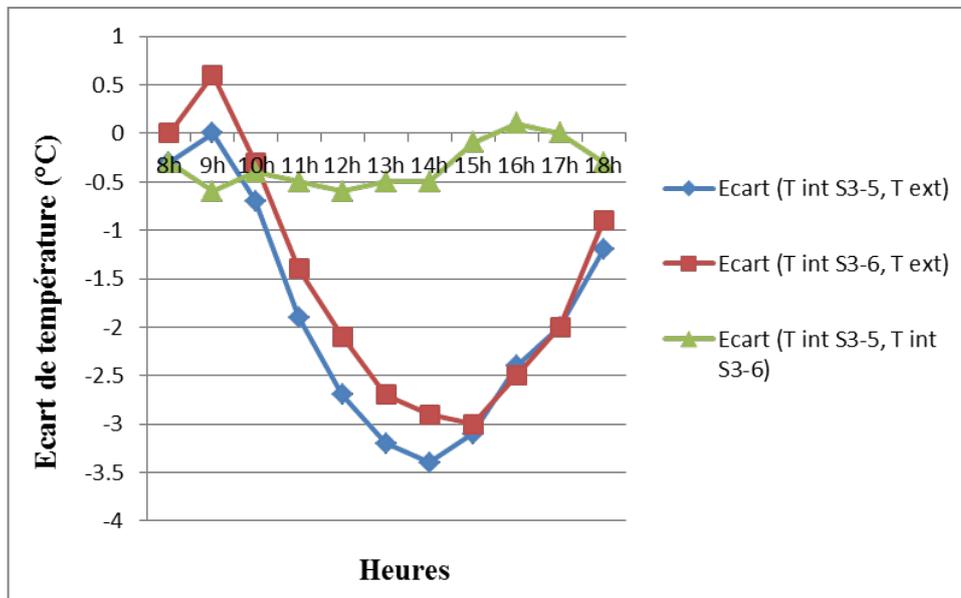


Fig VIII. 17 : Ecart journalier entre les températures extérieures et les températures intérieures des salles de classe S3-5 et S3-6 (Source : Auteur)

Et elles sont supérieures que celles de l'extérieur pendant :

- Toute la période d'occupation pour la salle S1-1 avec un écart de 3.6°C (écart maximal de 6.1°C à 9h00 et minimal de 2.2°C à 14h00) ;
- La tranche horaire allant de 8h00 à 11h00 et à partir de 17h00 pour la salle S1-9 marquant un écart moyen nul (écart maximal de 2.3°C à 9h00 et minimal de 0.1°C à 17h00) ;

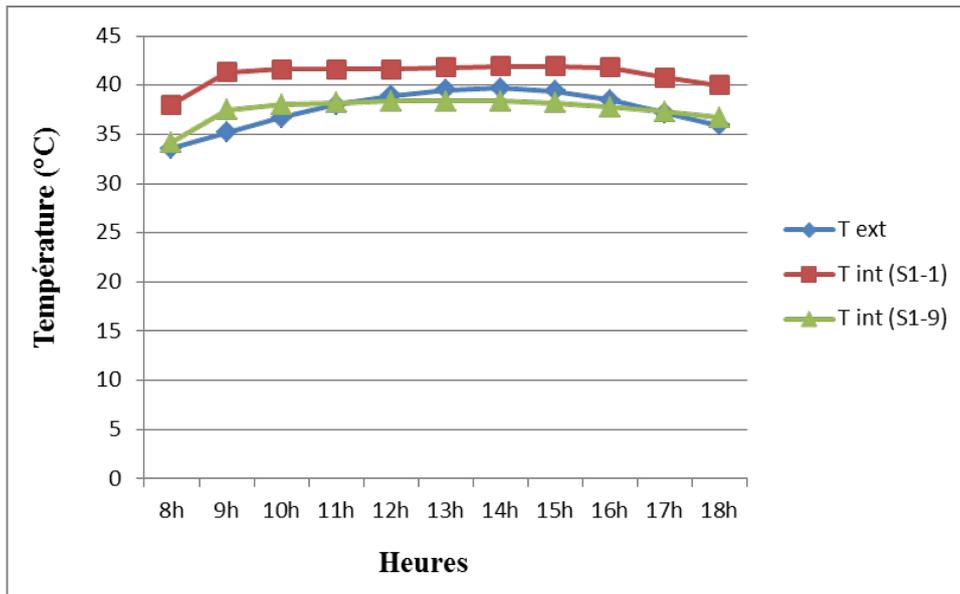


Fig VIII. 18 : Distribution journalière de la température extérieure et la température intérieure des salles de classe S1-1 et S1-9 (Source : Auteur)

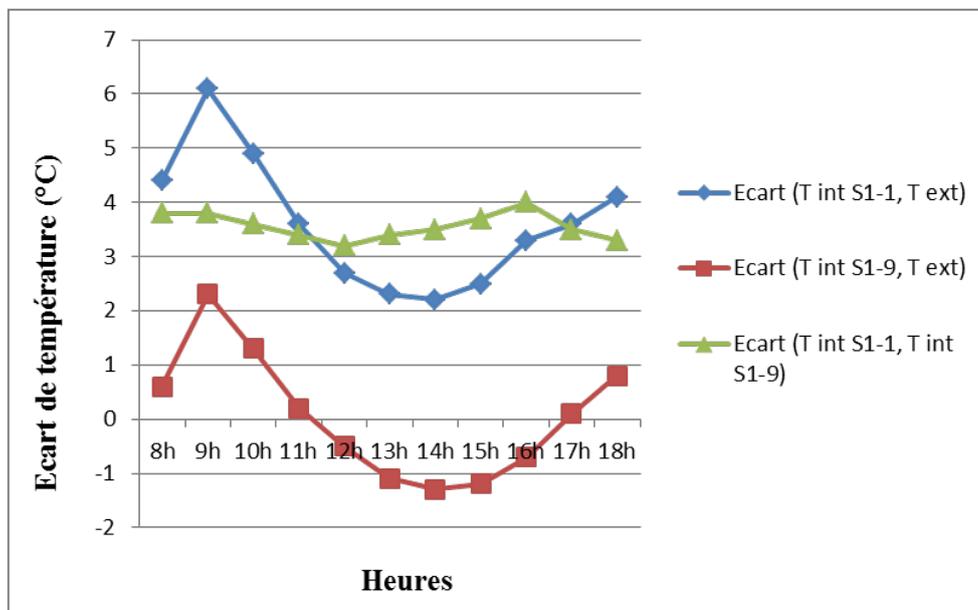


Fig VIII. 19 : Ecart journalier entre les températures extérieures et les températures intérieures des salles de classe S1-1 et S1-9 (Source : Auteur)

- La tranche horaire allant de 8h00 à 11h00 et à partir de 17h00 pour la salle S2-1 avec un écart moyen de 0.3°C (écart maximal de 2.2°C à 9h00 et minimal de -0.1°C à 16h00) ;
- Les premières heures d'occupation pour S6-4 avec un écart moyen de -1.5°C (écart maximal de -3°C à 14h00 et minimal de 0°C à 8h00) ;

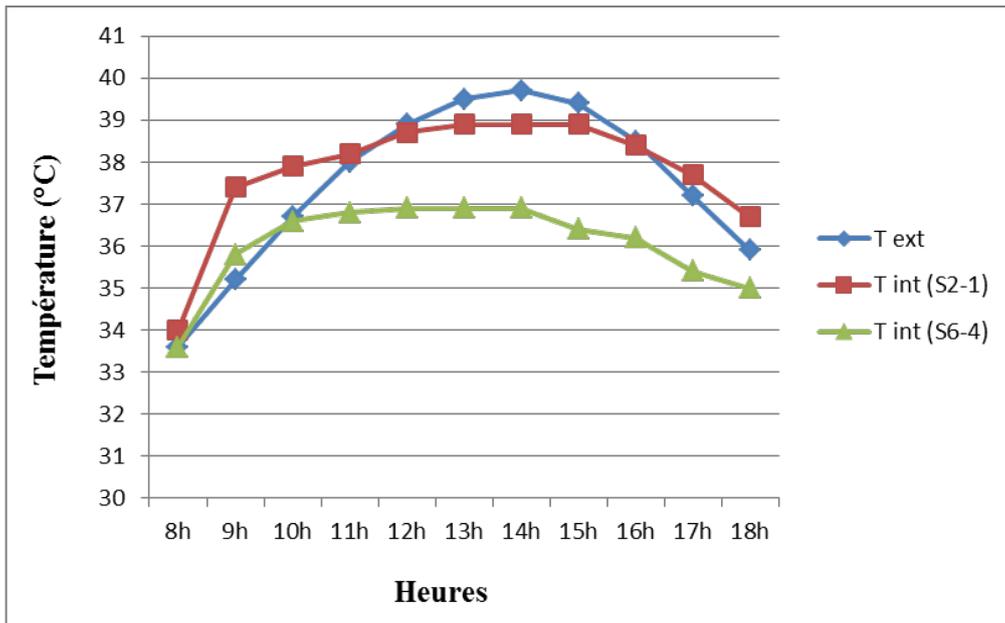


Fig VIII. 20 : Distribution journalière de la température extérieure et la température intérieure des salles de classe S2-1 et S6-4 (Source : Auteur)

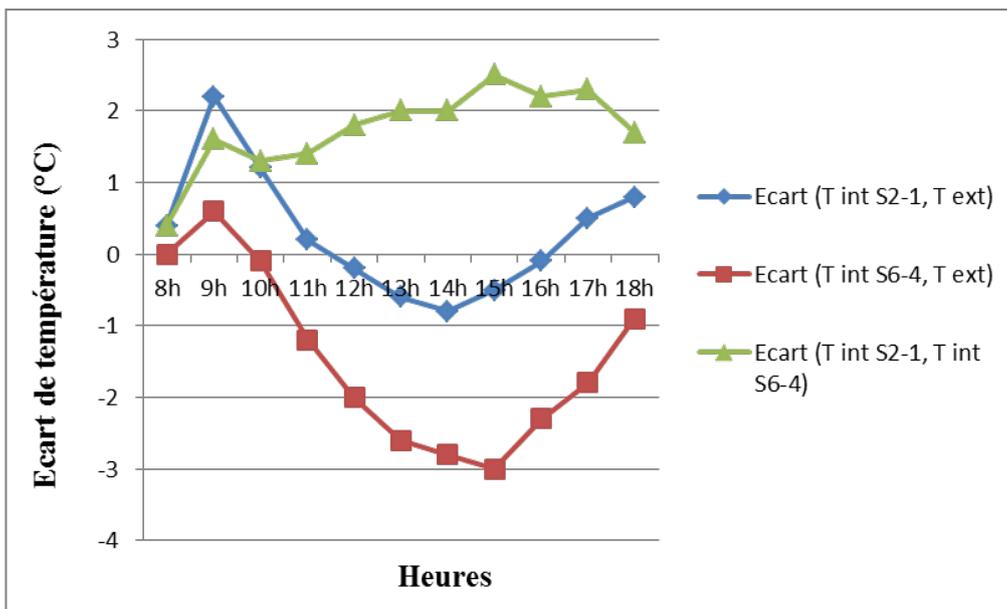


Fig VIII. 21 : Ecart journalier entre les températures extérieures et les températures intérieures des salles de classe S2-1 et S6-4 (Source : Auteur)

- La tranche horaire allant de 8h00 à 11h00 et à partir de 17h00 pour la salle S2-2 avec un écart moyen de 0.4°C (écart maximal de 2.3°C à 9h00 et minimal de 0°C à 16h00) ;
- La tranche horaire allant de 8h00 à 10h00 pour la salle S2-4 avec un écart moyen de -0.3°C (écart maximal de 1.8°C à 9h00 et minimal de -0.1°C à 11h00) ;

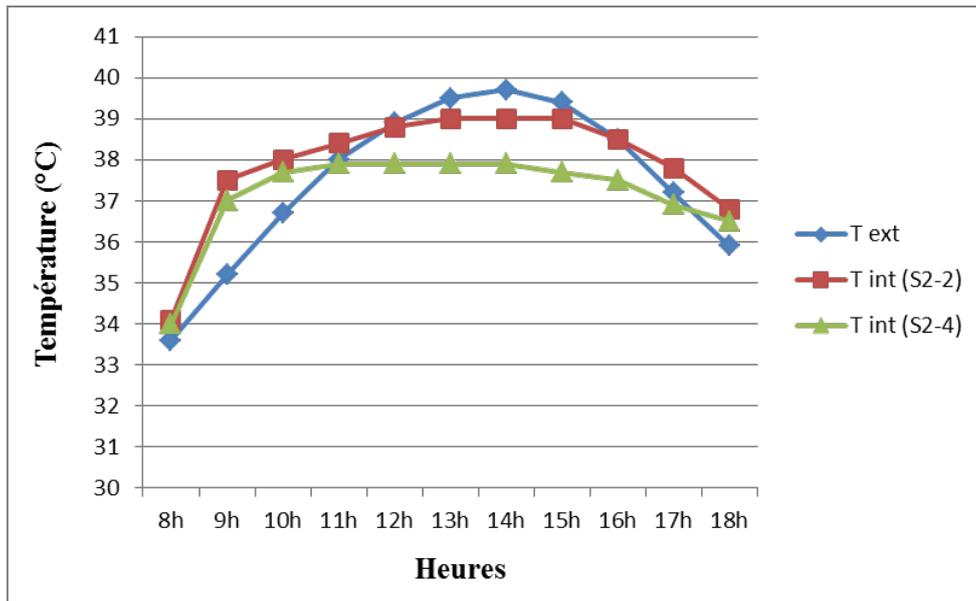


Fig VIII. 22 : Distribution journalière de la température extérieure et la température intérieure des salles de classe S2-2 et S2-4 (Source : Auteur)

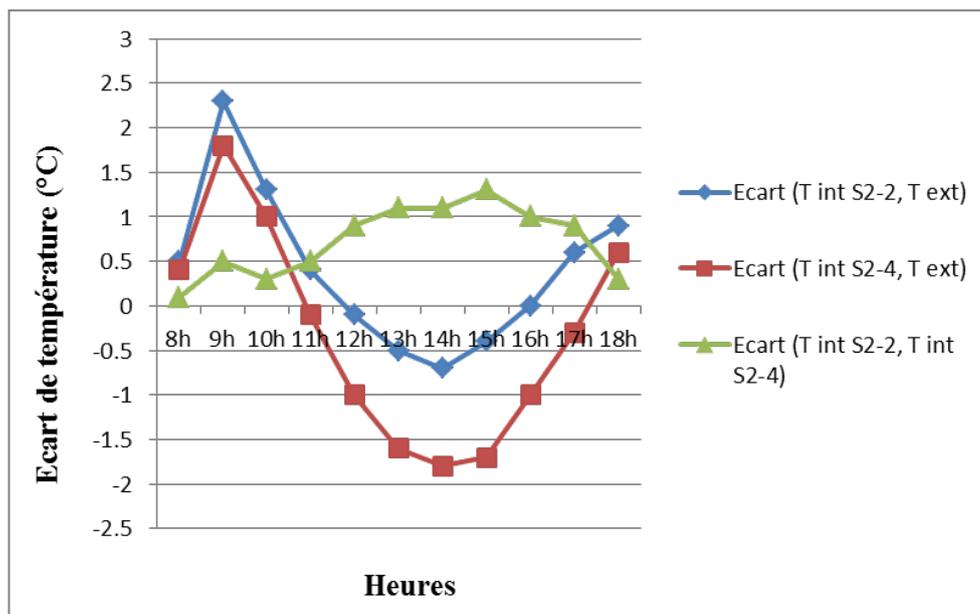


Fig VII. 23 : Ecart journalier entre les températures extérieures et les températures intérieures des salles de classe S2-2 et S2-4 (Source : Auteur)

- Les premières heures d'occupation pour les salles S4-1 et S4-5 avec un écart moyen de  $-1.5^{\circ}\text{C}$  (écart maximal de  $-2.9^{\circ}\text{C}$  à 14h00 et minimal de  $0^{\circ}\text{C}$  à 8h00) pour la première et de  $-0.8^{\circ}\text{C}$  (écart maximal de  $-2.2^{\circ}\text{C}$  à 14h00 et minimal de  $0.1^{\circ}\text{C}$  à 8h00) pour la dernière ;

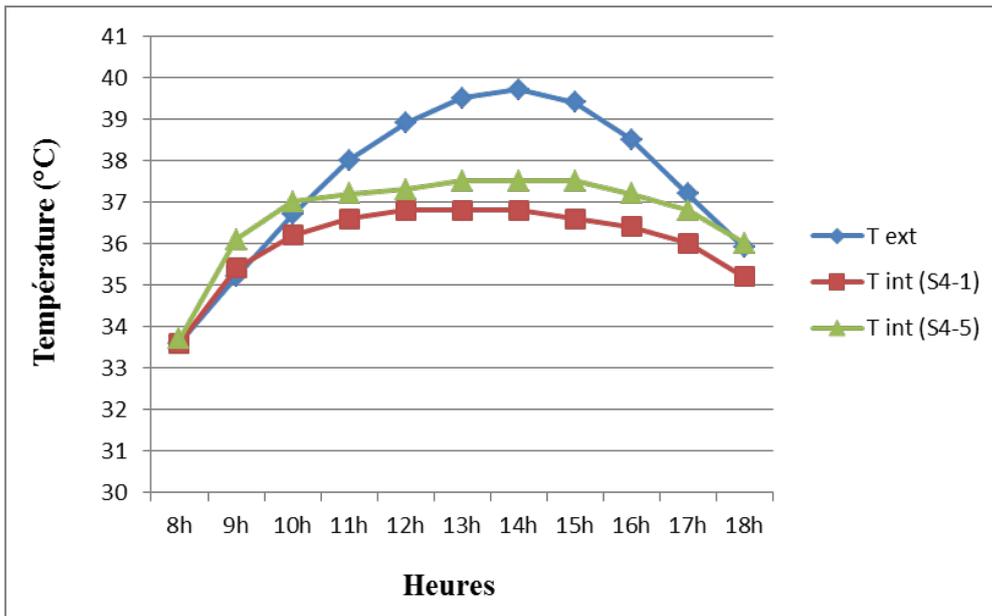


Fig VIII. 24 : Distribution journalière de la température extérieure et la température intérieure des salles de classe S4-1 et S4-5 (Source : Auteur)

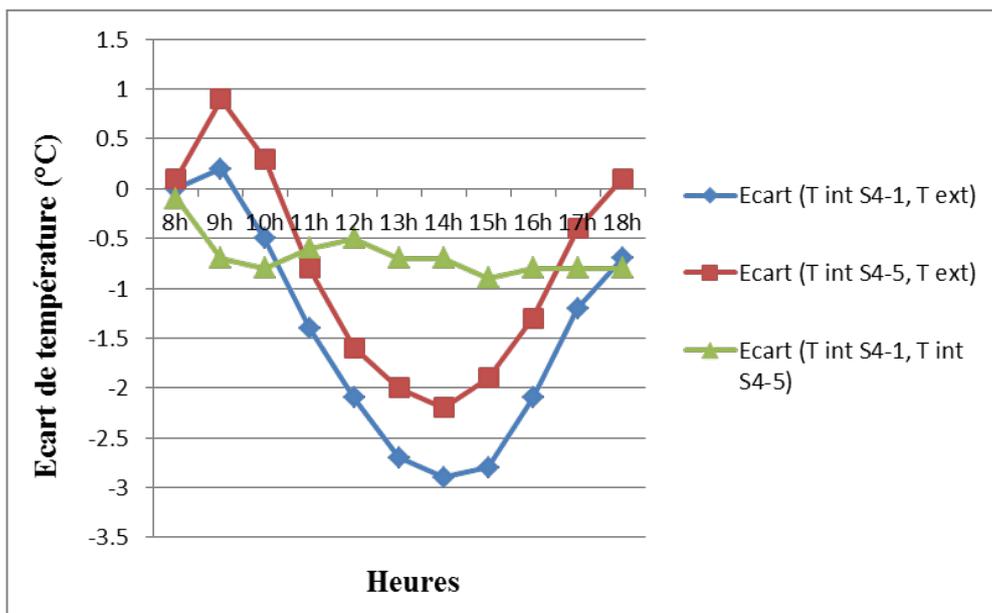


Fig VIII. 25 : Ecart journalier entre les températures extérieures et les températures intérieures des salles de classe S4-1 et S4-5 (Source : Auteur)

- Respectivement, les salles S1-1, S2-1, S2-2, S3-6 et S4-5 ont des températures intérieures plus élevées que celles de S1-9 (écart moyen de 3.6°C), S6-4 (écart moyen de 1.7°C), S2-4 (écart moyen de 0.7°C), S3-5 (écart moyen de 0.3°C) et S4-1 (écart moyen de 0.7°C).

Ces résultats présentés ci-dessus (l'écart entre les températures intérieures des salles de classe) sont expliqué comme suit :

Pour le 1<sup>er</sup> cas :

- L'orientation des façades en longueur possédant des ouvertures : Ouest / Est pour S1-1 et Nord / Sud pour S1-9 ;
- L'orientation des petites façades opaques : Nord / Sud pour S1-1 et Ouest / Est pour S1-9 ;
- La galerie qui se présente comme une protection solaire horizontale efficace en orientation Sud (cas de S1-9) et moins efficace en orientation Est (cas de S1-1).

Donc, la salle S1-1, le long de la durée d'occupation, possède au moins une façade exposée au rayonnement solaire direct. De plus, la façade Ouest reçoit un rayonnement solaire, l'après-midi, qui se caractérise par son intensité et son très faible angle d'incidence ce qui donne lieu à une pénétration plus profonde à l'intérieur d'une quantité très importante des radiations.

Contrairement, la salle S1-9 est plus protégée contre le rayonnement solaire direct grâce à l'orientation de ses façades.

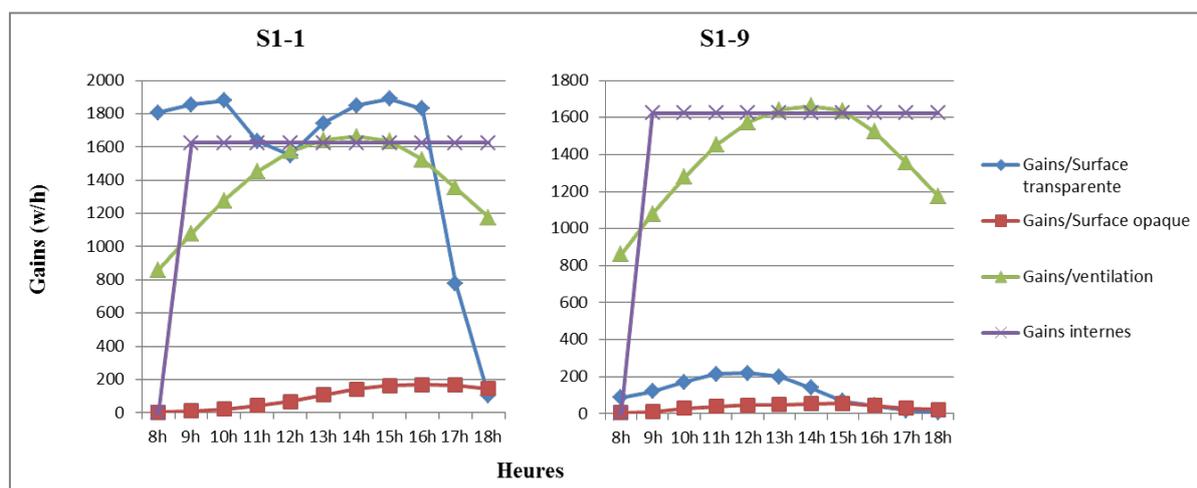


Fig VIII. 26 : Gains thermiques dans les salles de classe S1-1 et S1-9  
(Source : Auteur)

Pour le 2<sup>ème</sup> cas :

Les deux orientations Ouest et Sud reçoivent le rayonnement solaire pour une durée importante. Cependant, l'orientation Sud reçoit ce rayonnement avec des températures moins élevées et avec un important angle d'incidence contrairement à l'orientation Ouest qui le reçoit avec un très faible angle d'incidence et à des moments où la température est élevée. Donc, l'orientation Ouest cumule plus de gains thermiques par rapport à l'orientation Sud ce qui explique la différence des températures intérieures.

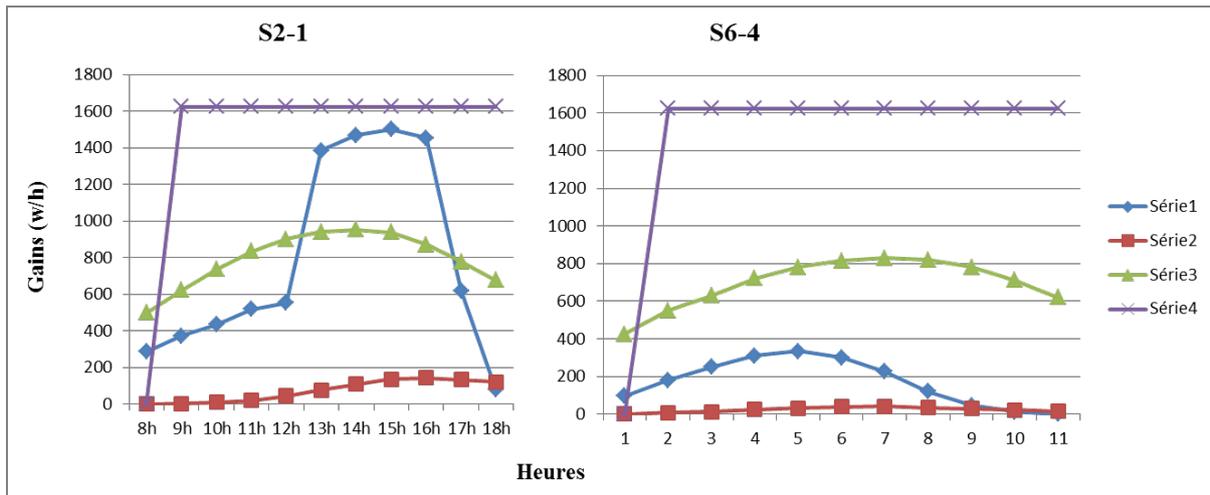


Fig VIII. 27 : Gains thermiques dans les salles de classe S2-1 et S6-4  
(Source : Auteur)

Pour le 3<sup>ème</sup> cas :

L'orientation Est est exposée au rayonnement solaire pendant la période matinale et l'orientation Ouest pendant l'après-midi. Cependant, la salle S2-2 présente une température moyenne plus élevée que celle de S2-4. Cela est expliqué par le fait que l'orientation Est reçoit les rayons solaires à un moment où les températures sont encore faibles. Tandis que l'orientation Ouest les reçoit pendant une période qui coïncide avec des températures extérieures plus élevées.

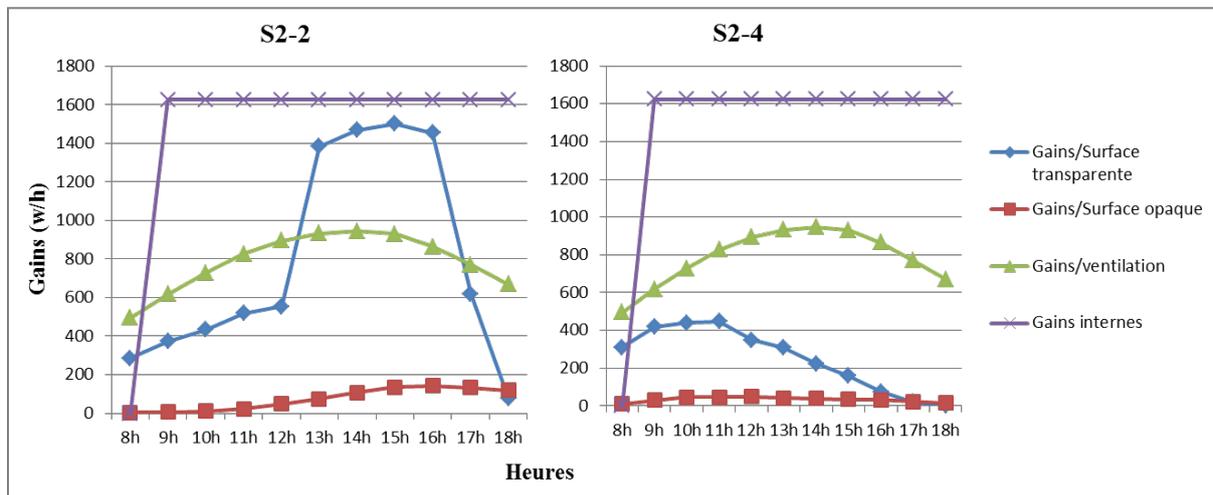


Fig VIII. 28 : Gains thermiques dans les salles de classe S2-2 et S2-4  
(Source : Auteur)

Pour le 4<sup>ème</sup> cas :

Les deux salles S3-5 et S3-6 possèdent deux façades libres : une façade opaque orientée vers l’Est et une façade contenant des ouvertures orientée Nord pour la première salle et Sud pour la deuxième. Donc, la salle S3-6 reçoit une quantité plus élevée d’énergie solaire par rapport à la salle S3-5.

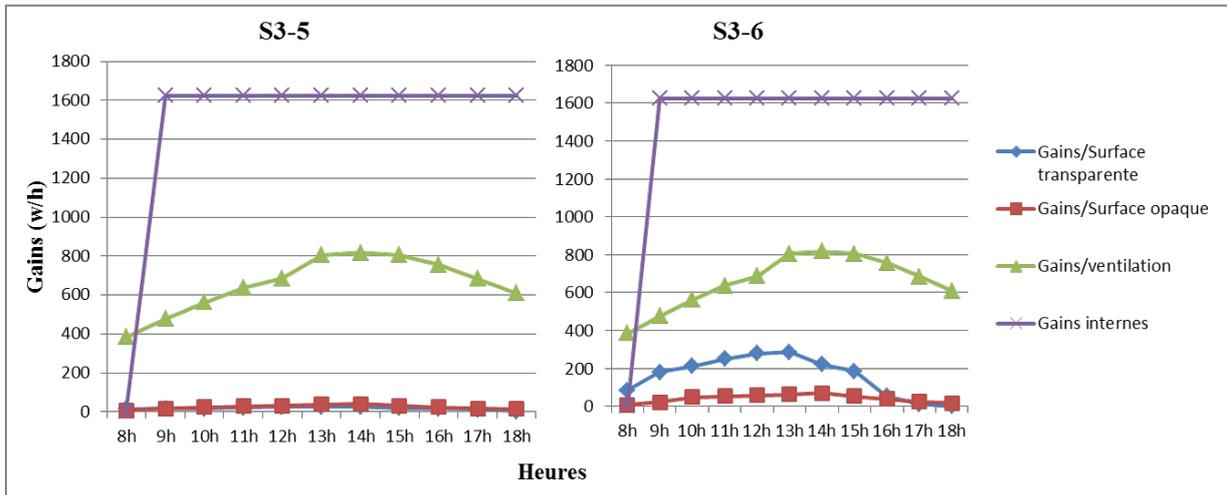


Fig VIII. 29 : Gains thermiques dans les salles de classe S3-5 et S3-6  
(Source : Auteur)

Les deux salles S4-1 et S4-5 présentent des gains thermiques semblables et donc des valeurs égales de températures pendant la période matinale. Cependant, pendant l’après-midi, les températures s’augmentent d’une manière différente dans les deux salles. Cela est dû à la différence d’orientation (Nord et Ouest pour S4-1, Sud et Ouest pour S4-5) et logiquement la quantité des gains thermiques.

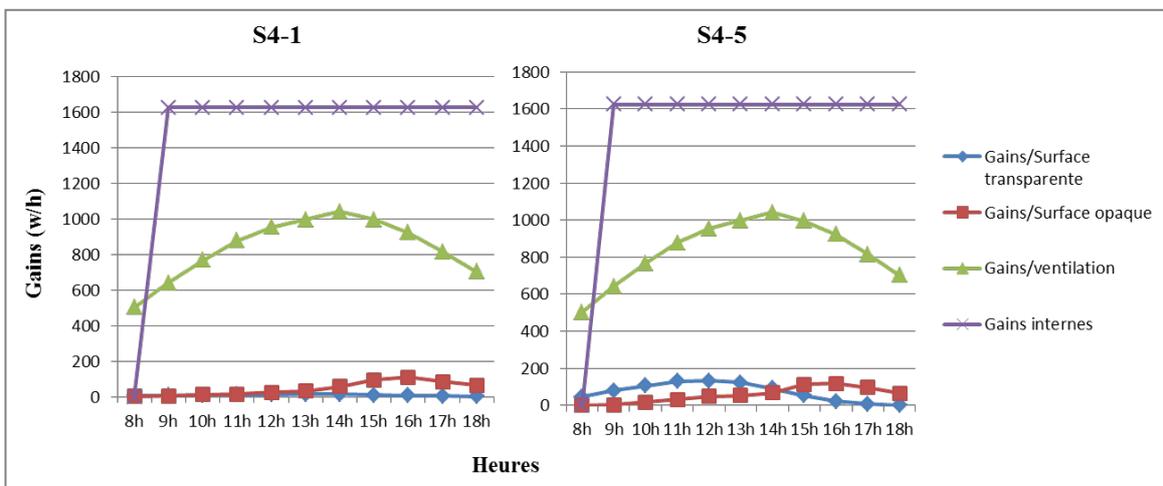


Fig VIII. 30 : Gains thermiques dans les salles de classe S4-1 et S4-5  
(Source : Auteur)

Pour résumer, ces résultats sont expliqués, donc, par la durée d'exposition des façades au rayonnement solaire direct ainsi que son intensité. Les typologies orientées vers l'Ouest se caractérisent par les valeurs les plus élevées de la température intérieure.

### VIII.6 Protection solaire :

Pour évaluer l'influence des différentes formes proposées des protections solaires dans notre échantillon d'étude sur les valeurs de la température intérieure, nous allons procéder une comparaison entre deux cas : la présence et l'absence des protections solaires. Cette comparaison sera effectuée pour les trois orientations (les mêmes cas traités dans la partie d'évaluation d'ensoleillement).

- **Orientation Sud :**

Nous remarquons une différence entre les deux cas de présence et d'absence de la protection solaire. Cette différence se distingue d'un cas à l'autre :

- Pour le 1<sup>er</sup> cas (auvent / S1-9), l'efficacité de cet élément dans l'ombrage total de la façade (ce point est expliqué dans le chapitre précédent) est traduit, ainsi, dans l'écart remarquable entre les valeurs de la température intérieure (écart moyen de 0.6°C) ;
- Pour le 2<sup>ème</sup> cas (écrans horizontaux et verticaux / S3-6) et le 3<sup>ème</sup> cas (éléments arqués de au-dessus des ouvertures / S4-5), l'écart minime entre les valeurs des températures intérieures (écart moyen de 0.2°C pour le 2<sup>ème</sup> cas et 0.1°C pour le 3<sup>ème</sup> cas) explique l'inefficacité de ces éléments d'ombrager les façades et de réguler, donc, les températures intérieures ;
- Pour le 4<sup>ème</sup> cas (écrans horizontaux et verticaux / S5-4) et le 5<sup>ème</sup> cas (lames verticales et écrans horizontaux / S6-4), les éléments ne permettent un ombrage total des façades, mais, ils offrent un pourcentage important surtout pour les ouvertures ce qui crée une différence entre les températures (écart moyen de 0.4°C pour les deux cas).

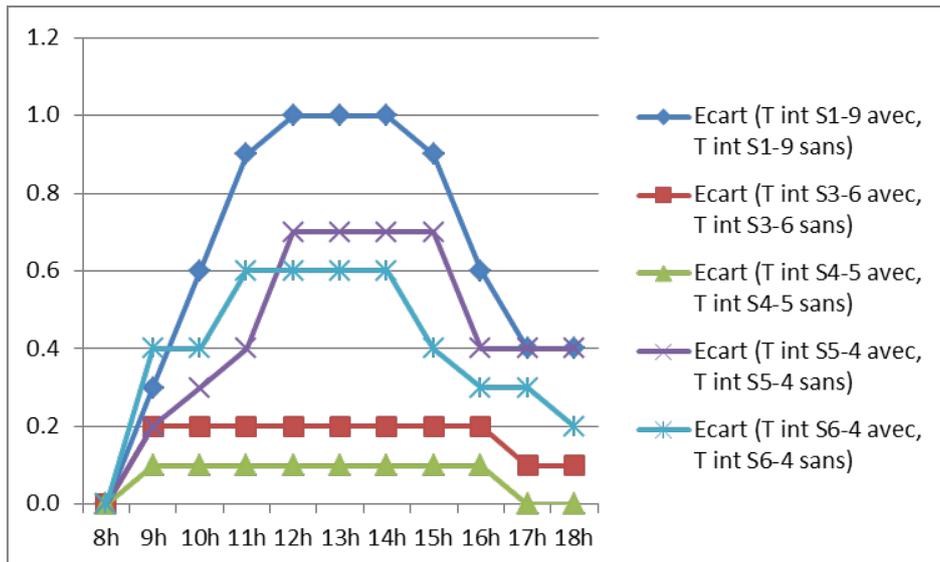


Fig VIII. 31 : Ecart journalier entre les températures intérieures des salles de classe S1-9, S3-6, S4-5, S5-4 et S6-4 avec et sans protection solaire (Source : Auteur)

• **Orientation Ouest :**

Pour cette orientation, les résultats montrent que des éléments de protection solaire proposés ne remplissent pas leur rôle d'abaissement des températures intérieures ; l'écart est nul pour le 1<sup>er</sup> cas (lames verticales et écrans horizontaux / S1-1) et minime pour le 2<sup>ème</sup> cas (écrans horizontaux et verticaux / S2-1) avec une valeur moyenne de 0.1°C.

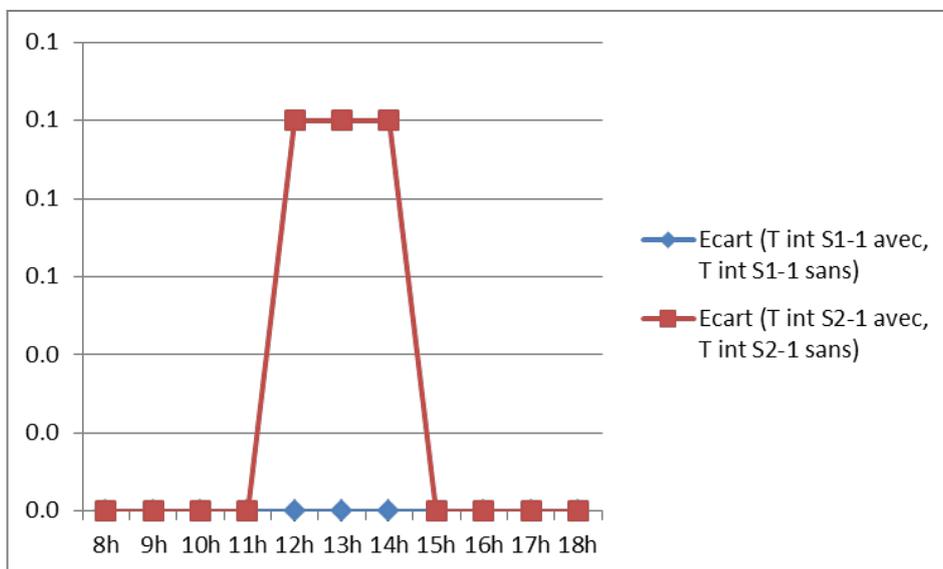


Fig VIII. 32 : Ecart journalier entre les températures intérieures des salles de classe S1-1 et S2-2 avec et sans protection solaire (Source : Auteur)

- **Orientation Est :**

Pour les deux cas, les valeurs des températures intérieures ne varient d'une manière perceptible pour les deux cas de présence et d'absence des protections solaires ; l'écart moyen marqué tend vers le zéro pour le 1<sup>er</sup> cas (auvent /S1-1) ainsi que pour le 2<sup>ème</sup> cas (écrans horizontaux et verticaux / S2-4). Donc, ces éléments proposés pour la protection solaire ne sont pas efficaces en cette orientation.

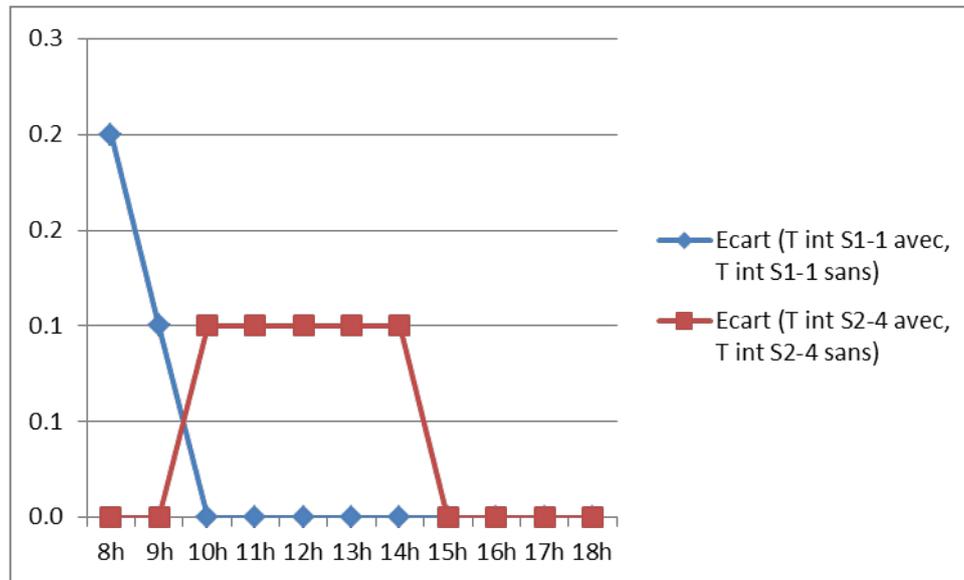


Fig VIII. 33 : Ecart journalier entre les températures intérieures des salles de classe S1-1 et S2-4 avec et sans protection solaire (Source : Auteur)

Dans ce qui suit, nous allons évaluer l'efficacité des lames horizontales et verticales dans l'abaissement des températures intérieures pour les orientations étudiées.

- **Lames horizontales :**

Comme nous avons indiqué dans le chapitre précédent, la profondeur et l'équidistance des lames sont égales (50 cm).

Les résultats, présentés dans le graphe suivant, montrent que ce type de protection solaire est efficace en orientation Sud (un écart moyen important de température intérieure) et moins efficace pour les orientations Est et Ouest (des écarts minimes de température intérieure).

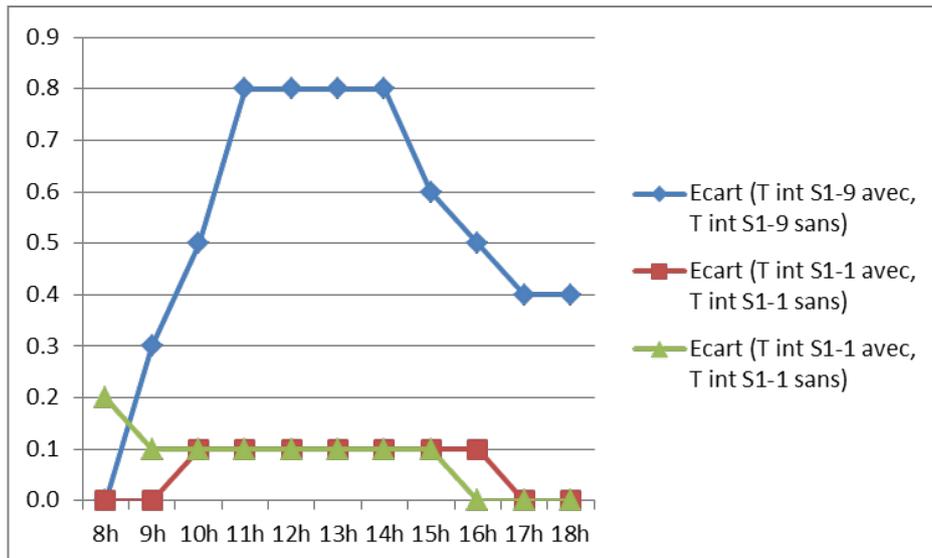


Fig VIII. 34 : Ecart journalier entre les températures intérieures des salles de classe S1-9 (Sud) et S1-1 (Est et Ouest) avec et sans lames horizontales (Source : Auteur)

• **Lames verticales :**

Pour notre cas, la profondeur des lames verticales est égale à leur équidistance (80 cm). Elles sont inefficaces pour les trois orientations.

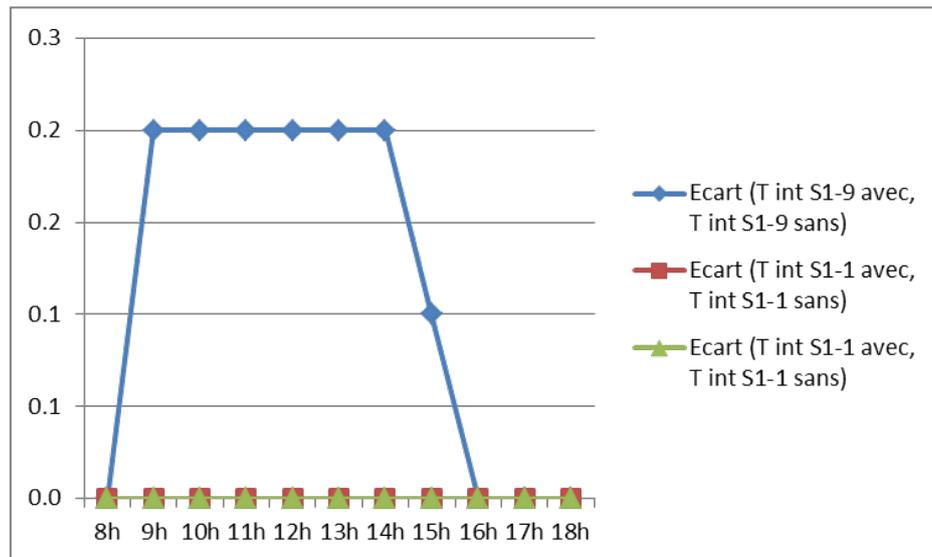


Fig VIII. 35 : Ecart journalier entre les températures intérieures des salles de classe S1-9 (Sud) et S1-1 (Est et Ouest) avec et sans lames verticales (Source : Auteur)

## VIII.7 Comparaison entre les typologies des blocs d'enseignement :

Cette partie présente une comparaison entre les trois typologies des blocs d'enseignement en ce qui concerne les valeurs de la température intérieure. Les caractéristiques de chaque typologie sont présentées dans le chapitre précédent.

Pour une valeur moyenne de la température extérieure de 37.5°C, les valeurs de température enregistrées dans les trois typologies de blocs d'enseignement sont résumées dans le tableau suivant :

Typologies des blocs d'enseignement	Typologies composantes des salles de classe	Salle de classe représentative	Valeur moyenne de la température intérieure (°C)
<b>Typologie 01</b>	T(I-3)	S1-9	<b>37.6</b>
<b>Typologie 02</b>	T(IV-1)	S4-1	<b>36</b>
	T(IV-2)	S4-2	<b>35.9</b>
	T(IV-3)	S4-5	<b>38.7</b>
	T(IV-4)	S4-6	<b>36</b>
<b>Typologie 03</b>	T(VI-1)	S6-1	<b>37.6</b>
	T(VI-2)	S6-2	<b>38</b>
	T(VI-3)	S6-3	<b>38.7</b>
	T(VI-4)	S6-4	<b>36</b>

Tableau VIII. 1 : Valeurs de la température intérieure dans les typologies de blocs d'enseignement  
(Source : Auteur)

Ces valeurs sont, ainsi, illustrées dans la figure suivante :

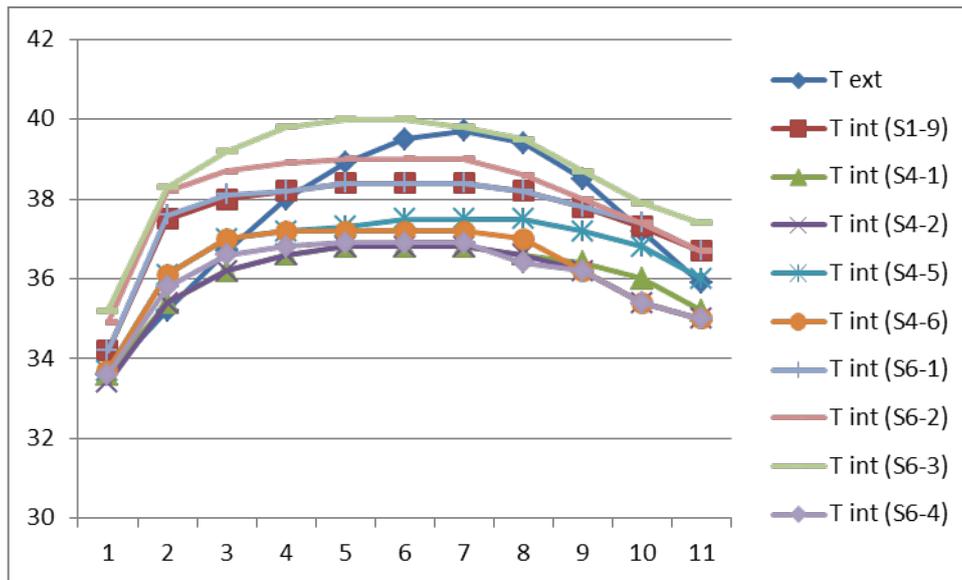


Fig VIII. 36 : Distribution journalière de la température extérieure et la température intérieure dans les différentes typologies des blocs d'enseignement (Source : Auteur)

Les résultats présentés ci-dessus montrent que :

- La typologie 01 se caractérise par une valeur fixe de la température intérieure dans toutes les salles de classe, tandis que les deux autres typologies présentent différentes valeurs ;
- Les valeurs les plus basses de la température intérieure sont enregistrées dans la typologie 02 et les valeurs les plus hautes dans la typologie 03.

Ces résultats sont justifiés comme suit :

- Chaque typologie présente des caractéristiques différentes par rapport aux autres ;
- Les deux typologies 02 et 03 se composent d'un nombre de typologies de salles de classe qui présentent différentes caractéristiques (localisation et orientation pour la typologie 02, proportion, localisation, nombre de murs pourvus d'ouvertures et orientation pour la typologie 03).

Donc, les gains thermiques pour chaque typologie sont relatifs à ses caractéristiques.

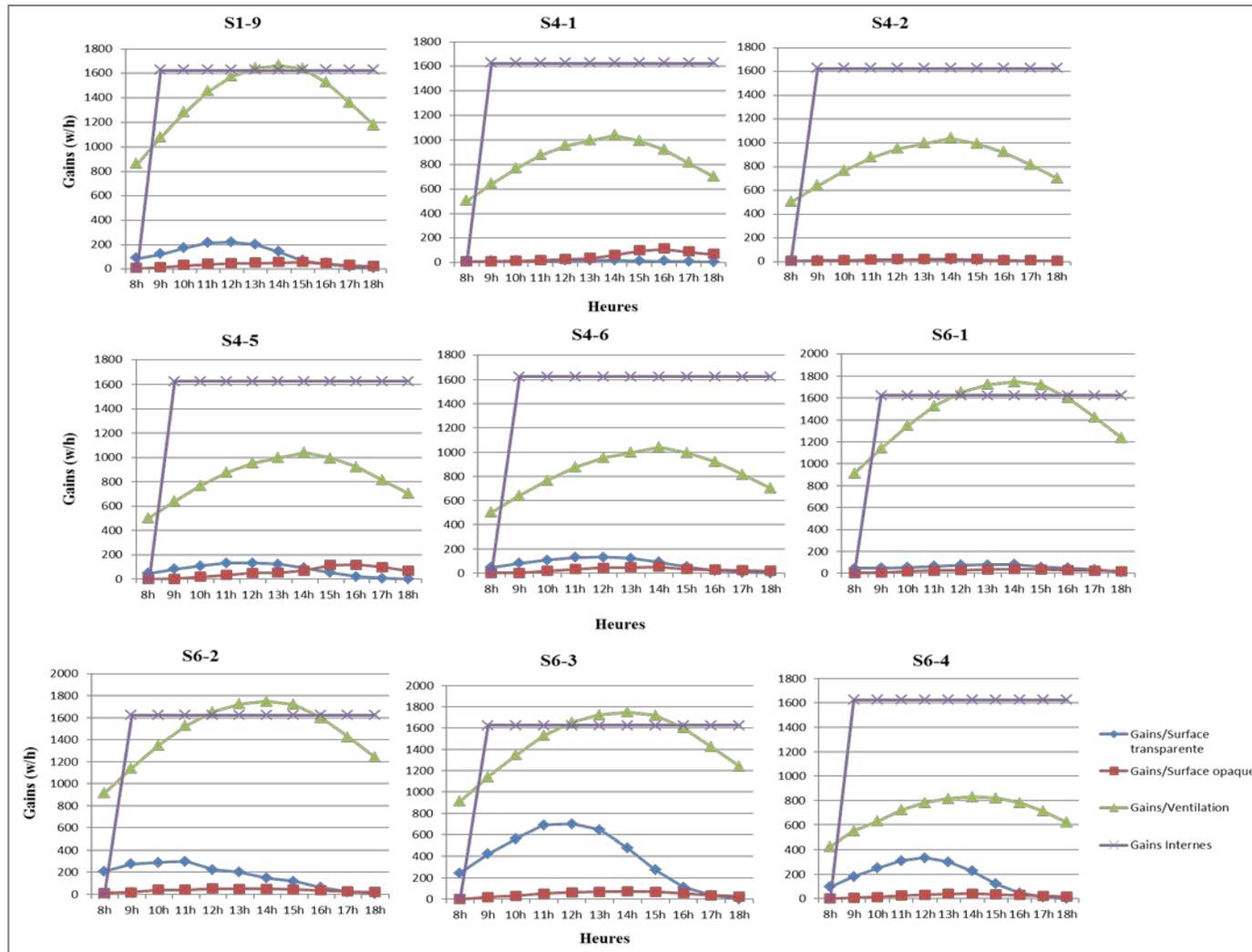


Fig VIII. 37 : Gains thermiques dans les différentes typologies des blocs d'enseignement  
 (Source : Auteur)

## VIII.8 Synthèse :

Le tableau suivant synthétise les différents résultats exposés dans ce chapitre :

<b>SALLE DE CLASSE</b>		
	<b>Influence</b>	<b>Pourquoi ?</b>
<b>Proportion</b>	Oui	L'augmentation de la profondeur et/ou la largeur implique l'augmentation des gains thermiques à travers la surface opaque et transparente ce qui cause l'augmentation de la température intérieure.
<b>Localisation</b>	Oui	Plus le nombre des façades en contact avec l'extérieur est grand, plus les gains thermiques sont plus importants et plus la température intérieure s'augmente.
<b>Nombre de murs pourvus d'ouvertures</b>	Oui	Dans le cas où tous les murs pourvus d'ouvertures sont exposés à l'extérieur, les gains thermiques augmentent et ainsi la température intérieure.
<b>Pourcentage d'ouvertures</b>	Oui	L'augmentation de la surface d'ouvertures implique directement l'augmentation des gains thermiques ce qui cause l'accroissement de la température intérieure.
<b>Orientation de la façade principale</b>	Oui	Le changement d'orientation implique un changement dans la quantité des gains thermiques à travers les surfaces opaques et transparentes et par la suite des valeurs variables de la température intérieure.
<b>Protection solaire</b>	Oui	La présence de la protection solaire diminue (selon le type et le dimensionnement) les gains thermiques ce qui participe à l'abaissement de la température intérieure.
<b>BLOC D'ENSEIGNEMENT</b>		
<b>Organisation spatiale + espaces de distribution</b>	Les gains thermiques se varient d'une typologie des blocs d'enseignement à l'autre. Cette différence est relative aux caractéristiques différentes de ces typologies. Donc, les températures intérieures se varient selon l'importance des gains thermiques.	

Tableau VIII. 2 : Synthèse des résultats de la simulation des températures intérieures  
(Source : Auteur)

# CHAPITRE IX :

## EVALUATION DES RÉPONSES SUBJECTIVES

*« Percevoir c'est toujours autre chose que  
subir ou recevoir comme une empreinte. C'est  
toujours affirmer à propos de ce qu'on a senti  
quelque chose que l'on juge réel »*

Jules Lagneau

## **Introduction :**

Après avoir exposé les résultats de la simulation des deux paramètres : l'ensoleillement et la température intérieure, nous allons présenter les réponses subjectives des usagers interrogés concernant les paramètres : température intérieure, humidité relative, mouvement de l'air, gêne par rapport à l'ensoleillement et confort global.

Ces résultats, issus du questionnaire, remplissent deux fonctions à la fois :

- Une fonction complémentaire dans l'évaluation des deux paramètres humidité relative et vitesse de l'air, vu la limitation du logiciel choisi qui ne prend pas en charge le calcul de ces paramètres ;
- Une fonction de confrontation pour les paramètres : ensoleillement, taches solaires et température intérieure.

## IX.1 Température intérieure :

Les réponses subjectives de sensation, d'acceptabilité et de préférence vis-à-vis la température intérieure sont réparties selon les catégories définies dans la figures suivantes.

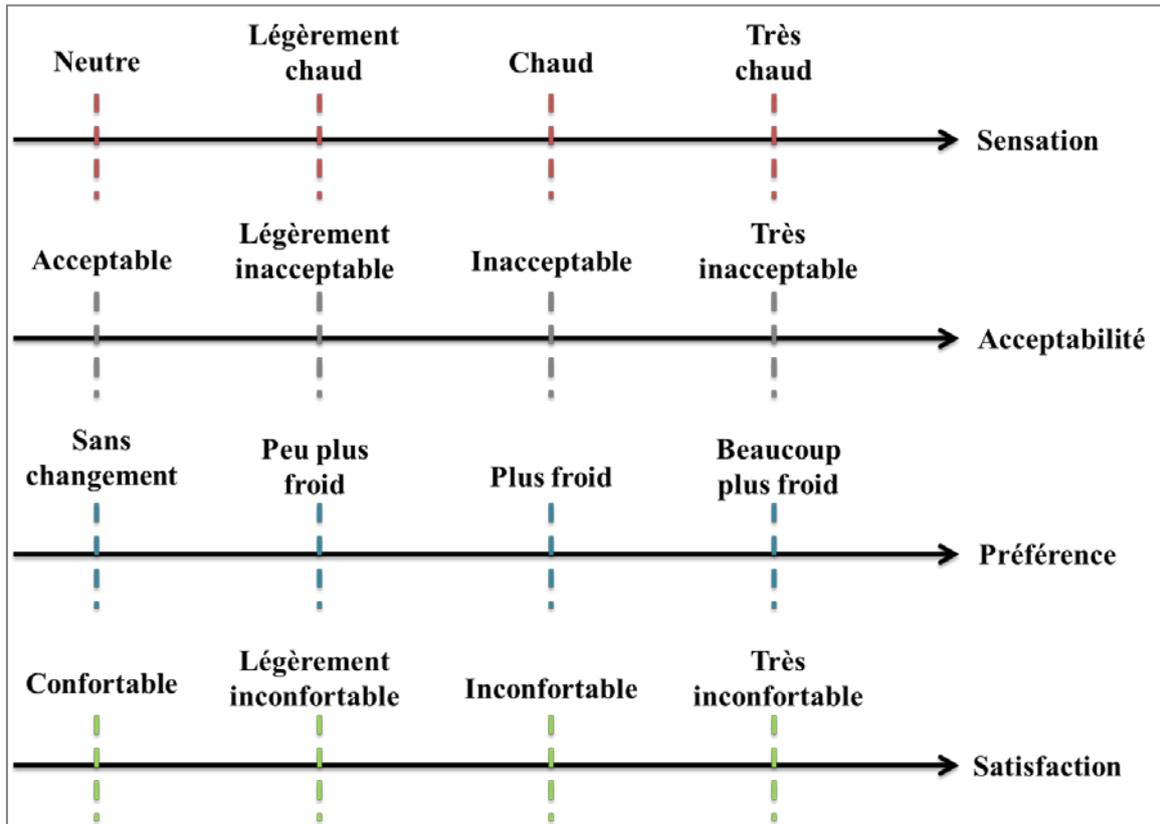


Fig IX. 1 : Echelles de sensation, d'acceptabilité et de préférence vis-à-vis la température intérieure  
(Source : Auteur)

L'évaluation des autres paramètres (humidité et mouvement de l'air) suivent aussi cette forme des échelles.

Les résultats de l'évaluation subjective seront exposés sous forme des tableaux présentés dans ce qui suit ainsi que sous forme des graphes présentés dans l'annexe E.

## IX.1.1 Proportion de la salle de classe :

Sensation	Neutre	Légèrement chaud	Chaud	Très chaud
S6-3	33%	11%	56%	/
S6-4	11%	56%	33%	/
<b>D'après les évaluations subjectives :</b> l'environnement de la salle de classe S6-3 est jugé plus chaud que celui de la salle S6-4.				
Acceptabilité	Acceptable	Légèrement inacceptable	Inacceptable	Très inacceptable
S6-3	/	67%	33%	/
S6-4	11%	56%	33%	/
<b>D'après les évaluations subjectives :</b> Le taux d'inacceptation de la température intérieure est important dans les deux salles classe. Cependant, il est plus élevé dans la salle S6-3.				
Préférence	Sans	Peu plus froid	Plus froid	Beaucoup plus froid
S6-3	/	56%	44%	/
S6-4	11%	44%	44%	/
<b>D'après les évaluations subjectives :</b> La totalité des usagers ont voulu plus de fraîcheur dans leur environnement dans la salle S6-3 et la majorité dans la salle S6-4.				
<b>D'après les évaluations objectives :</b> Les deux salles de classe présentent des températures élevées et elles se situent dans la zone de surchauffe, cependant, la salle S6-3 se caractérise par les valeurs les plus élevées et elle est la plus éloignée de la limite de la zone du confort.				
Les évaluations subjectives et objectives sont relatives l'une à l'autre. Plus la proportion de la salle de classe s'augmente, plus les gains thermiques sont importants et plus la température s'augmente ce qui implique une sensation thermique qui tend vers le chaud, une diminution d'acceptabilité et par la suite, un environnement plus frais sera plus demandé.				
<b>La proportion de la salle de classe influence la sensation de la température et par la suite l'acceptabilité ainsi que la préférence thermique</b>				

Tableau IX. 1 : Influence de la proportion de la salle de classe sur les jugements de sensation, d'acceptabilité et de préférence vis-à-vis la température intérieure (Source : Auteur)

## IX.1.2 Localisation de la salle de classe :

Sensation	Neutre	Légèrement chaud	Chaud	Très chaud
S1-1	/	/	33%	67%
S1-4	/	/	56%	44%
<b>D'après les évaluations subjectives :</b> Les évaluations dans les deux salles de classe sont proches, cependant, la salle de classe S1-1 est jugée plus chaude.				
Acceptabilité	Acceptable	Légèrement inacceptable	Inacceptable	Très inacceptable
S1-1	/	11%	67%	22%
S1-4	11%	22%	44%	22%
<b>D'après les évaluations subjectives :</b> Le taux d'inacceptation de la température intérieure est important dans les deux salles classe. Cependant, il est plus élevé dans la salle S1-1.				
Préférence	Sans	Peu plus froid	Plus froid	Beaucoup plus froid
S1-1	/	11%	44%	44%
S1-4	/	11%	44%	44%
<b>D'après les évaluations subjectives :</b> La totalité des usagers ont voulu plus de fraîcheur dans leur environnement dans les deux salles S1-1 et S1-4.				
<b>D'après les évaluations objectives :</b> Les deux salles de classe ont un problème de surchauffe. Cependant, il existe un écart de température entre les deux salles qui est causé par une différence des gains thermiques.				
La surface exposée à l'extérieur détermine la quantité des gains thermique et par la suite les valeurs de la température intérieure, et donc, sa sensation, les taux d'acceptabilité et le niveau demandé de fraîcheur.				
<b>La localisation de la salle de classe influence la sensation de la température et par la suite l'acceptabilité ainsi que la préférence thermique</b>				

Tableau IX. 2 : Influence de la localisation de la salle de classe sur les jugements de sensation, d'acceptabilité et de préférence vis-à-vis la température intérieure (Source : Auteur)

## IX.1.3 Nombre de murs pourvus d'ouvertures :

Sensation	Neutre	Légèrement chaud	Chaud	Très chaud
S6-1	11%	44%	44%	/
S6-2	/	33%	67%	/
<b>D'après les évaluations subjectives :</b> Il n'existe pas un écart important entre les évaluations dans les deux salles de classe, cependant, la salle de classe S6-2 est jugée plus chaude.				
Acceptabilité	Acceptable	Légèrement inacceptable	Inacceptable	Très inacceptable
S6-1	/	33%	44%	22%
S6-2	/	33%	44%	22%
<b>D'après les évaluations subjectives :</b> Le taux d'inacceptation de la température intérieure est identique dans les deux salles classe.				
Préférence	Sans	Peu plus froid	Plus froid	Beaucoup plus froid
S6-1	11%	44%	44%	/
S6-2	11%	44%	44%	/
<b>D'après les évaluations subjectives :</b> La majorité des usagers réclament plus de fraîcheur dans leur environnement.				
<b>D'après les évaluations objectives :</b> Il existe un écart entre les valeurs des températures dans les deux salles de classe, cependant, il n'est pas très marqué. Cela est dû au pourcentage des ouvertures que porte la façade supplémentaire ainsi que son orientation.				
Le nombre de façades qui contiennent des ouvertures détermine leur orientation, et ainsi, la quantité des gains thermiques par l'intermédiaire de ces ouvertures. Donc, la température intérieure et sa sensation est relative à cette condition.				
<b>Le nombre de murs pourvus d'ouvertures influence la sensation de la température et par la suite l'acceptabilité ainsi que la préférence thermique</b>				

Tableau IX. 3 : Influence du nombre de murs pourvus d'ouvertures sur les jugements de sensation, d'acceptabilité et de préférence vis-à-vis la température intérieure (Source : Auteur)

## IX.1.4 Pourcentage d'ouvertures :

Sensation	Neutre	Légèrement chaud	Chaud	Très chaud
S1-4	/	/	56%	44%
S2-2	/	11%	56%	33%
<b>D'après les évaluations subjectives :</b> La salle de classe S1-4 est jugée plus chaude par rapport à la salle S2-2.				
Acceptabilité	Acceptable	Légèrement inacceptable	Inacceptable	Très inacceptable
S1-4	11%	22%	44%	22%
S2-2	/	33%	33%	33%
<b>D'après les évaluations subjectives :</b> Le taux d'inacceptation de la température intérieure est important, il est ainsi proche dans les deux salles classe.				
Préférence	Sans	Peu plus froid	Plus froid	Beaucoup plus froid
S1-4	/	11%	44%	44%
S2-2	/	33%	44%	22%
<b>D'après les évaluations subjectives :</b> La totalité des usagers, dans les deux salles de classe, réclament plus de fraîcheur dans leur environnement.				
<b>D'après les évaluations objectives :</b> Malgré l'écart qui existe entre les deux salles de classe, les valeurs de températures restent toujours élevées et éloignées de la zone du confort.				
Le pourcentage d'ouvertures est un paramètre déterminant de la quantité des gains thermique. Son augmentation entraîne ainsi l'augmentation de la température et par la suite une importante sensation de chaleur. Dans le cas présent, puisque les températures sont très élevées, la sensation de chaleur se rapproche.				
<b>Le pourcentage d'ouvertures influence la sensation de la température et par la suite l'acceptabilité ainsi que la préférence thermique</b>				

Tableau IX. 4 : Influence du pourcentage d'ouvertures sur les jugements de sensation, d'acceptabilité et de préférence vis-à-vis la température intérieure (Source : Auteur)

## IX.1.5 Orientation de la façade principale :

Sensation	Neutre	Légèrement chaud	Chaud	Très chaud
S1-1	/	/	33%	67%
S1-9	11%	44%	44%	/
<b>D'après les évaluations subjectives :</b> Il existe un écart entre les évaluations des étudiants dans les deux salles de classe. La majorité des répondants dans la salle de classe S1-1 ont jugé leur environnement thermique « très chaud ».				
Acceptabilité	Acceptable	Légèrement inacceptable	Inacceptable	Très inacceptable
S1-1	/	11%	67%	22%
S1-9	22%	56%	11%	11%
<b>D'après les évaluations subjectives :</b> Le taux d'inacceptation de la température intérieure est très important dans la salle S1-1 par rapport à la salle S1-9.				
Préférence	Sans	Peu plus froid	Plus froid	Beaucoup plus froid
S1-1	/	11%	44%	44%
S1-9	11%	56%	22%	11%
<b>D'après les évaluations subjectives :</b> Un environnement plus froid est plus demandé dans la salle S1-1 par rapport à S1-9.				
<b>D'après les évaluations objectives :</b> Il existe un écart important entre les températures intérieures des deux salles de classe. La salle S1-1 présente les valeurs les plus élevées de la température intérieure.				
Les évaluations subjectives confirment les mesures objectives. La différence dans l'orientation de la façade principale implique une différence de la quantité des gains thermiques et marque, donc, un écart important entre les températures intérieures. Ainsi, l'acceptabilité de la température intérieure est relative à ses valeurs et plus la valeur est importante plus la fraîcheur est souhaitée.				
<b>L'orientation des façades des salles de classe influence la sensation de la température et par la suite l'acceptabilité ainsi que la préférence thermique</b>				

Tableau IX. 5 : Influence de l'orientation de la façade principale de la salle de classe sur les jugements de sensation, d'acceptabilité et de préférence vis-à-vis la température intérieure (Source : Auteur)

## IX.2 Humidité relative :

### IX.2.1 Proportion de la salle de classe :

Sensation	Neutre	Légèrement sec	sec	Très sec
S6-3	56%	33%	11%	/
S6-4	33%	67%	/	/
La salle S6-3 est caractérisée par le taux le plus élevé de neutralité vis-à-vis l'humidité relative. Ainsi, dans les deux salles de classe, pour la majorité des usagers interrogés, la sensation de l'humidité varie entre neutre et légèrement sec.				
Acceptabilité	Acceptable	Légèrement inacceptable	Inacceptable	Très inacceptable
S6-3	22%	56%	22%	/
S6-4	56%	44%	/	/
Contrairement aux votes de sensation, le pourcentage le plus élevé d'acceptabilité est estimé dans la salle S6-4. Ainsi, les votes d'acceptabilité varient entre acceptable et légèrement inacceptable.				
Préférence	Sans	Peu plus humide	Plus humide	Beaucoup plus humide
S6-3	11%	67%	22%	/
S6-4	22%	78%	/	/
La majorité des étudiants interrogés dans la salle S6-3 et la totalité dans la salle S6-4 ont préféré avoir plus d'humidité.				
<b>Les résultats ne montrent pas l'existence d'une relation entre la proportion de la salle de classe et les jugements vis-à-vis l'humidité relative</b>				

Tableau IX. 6 : Influence de la proportion de la salle de classe sur les jugements de sensation, d'acceptabilité et de préférence vis-à-vis l'humidité relative (Source : Auteur)

## IX.2.2 Localisation de la salle de classe :

Sensation	Neutre	Légèrement sec	sec	Très sec
S1-1	11%	22%	67%	/
S1-4	/	56%	33%	11%
La sensation d'un environnement sec est plus élevée dans la salle S1-4.				
Acceptabilité	Acceptable	Légèrement inacceptable	Inacceptable	Très inacceptable
S1-1	33%	44%	22%	/
S1-4	33%	44%	11%	11%
Les pourcentages d'acceptabilité sont identiques dans les deux salles de classe. Les pourcentages d'inacceptation sont proches.				
Préférence	Sans	Peu plus humide	Plus humide	Beaucoup plus humide
S1-1	33%	44%	22%	/
S1-4	11%	56%	33%	/
Dans les deux salles de classe, il existe un nombre d'usagers ne demandant aucun changement par rapport à l'humidité. Cependant, la majorité préfère avoir plus d'humidité dans leurs salles de classe. D'un autre côté, les jugements d'acceptabilité et de préférence dans la salle S1-4 suivent la même logique.				
<b>Les résultats ne montrent pas l'existence d'une relation entre la localisation de la salle de classe et les jugements vis-à-vis l'humidité relative</b>				

Tableau IX. 7 : Influence de la localisation de la salle de classe sur les jugements de sensation, d'acceptabilité et de préférence vis-à-vis l'humidité relative (Source : Auteur)

## IX.2.3 Nombre de mur pourvus d'ouvertures :

Sensation	Neutre	Légèrement sec	sec	Très sec
S6-1	22%	44%	33%	
S6-2	33%	33%	22%	11%
Les jugements de sensation dans les deux salles de classe sont proches. Le pourcentage le plus élevé se divise entre légèrement sec et sec.				
Acceptabilité	Acceptable	Légèrement inacceptable	Inacceptable	Très inacceptable
S6-1	33%	33%	33%	
S6-2	44%	22%	22%	11%
La majorité des usagers montrent un pourcentage plus ou moins élevé de l'inacceptation, cependant, il existe un pourcentage qui considère l'humidité relative comme acceptable. Les jugements de sensation et d'acceptabilité ne sont pas superposés, cependant, ils ont proches.				
Préférence	Sans	Peu plus humide	Plus humide	Beaucoup plus humide
S6-1	11%	89%		
S6-2	22%	44%	33%	
La majorité des étudiants interrogés ont préféré avoir plus d'humidité dans leurs salles de classe, cependant, il existe une minorité qui ne demande aucun changement.				
<b>Les résultats ne montrent pas l'existence d'une relation entre le nombre de mur pourvus d'ouverture et les jugements vis-à-vis l'humidité relative</b>				

Tableau IX. 8 : Influence du nombre de murs pourvus d'ouvertures sur les jugements de sensation, d'acceptabilité et de préférence vis-à-vis l'humidité relative (Source : Auteur)

## IX.2.4 Pourcentage d'ouvertures :

Sensation	Neutre	Légèrement sec	sec	Très sec
S1-4	/	56%	33%	11%
S2-2	11%	33%	56%	/
La majeure partie des répondants réclame que l'environnement est plus ou moins sec. Le taux de neutralité existant dans la salle S2-2 est minime.				
Acceptabilité	Acceptable	Légèrement inacceptable	Inacceptable	Très inacceptable
S1-4	33%	44%	11%	11%
S2-2	33%	22%	44%	/
Malgré que la majorité des usagers sentent que l'environnement est plus ou moins sec, il existe un taux d'acceptabilité de cet environnement. L'inacceptation varie du légèrement inacceptable jusqu'au très inacceptable.				
Préférence	Sans	Peu plus humide	Plus humide	Beaucoup plus humide
S1-4	11%	56%	33%	/
S2-2	22%	44%	33%	/
La majorité des étudiants interrogés ont préféré avoir plus d'humidité dans leurs salles de classe.				
<b>Les résultats ne montrent pas l'existence d'une relation entre le pourcentage d'ouvertures et les jugements vis-à-vis l'humidité relative</b>				

Tableau IX. 9 : Influence du pourcentage d'ouvertures sur les jugements de sensation, d'acceptabilité et de préférence vis-à-vis l'humidité relative (Source : Auteur)

## IX.2.5 Orientation de la façade principale :

Sensation	Neutre	Légèrement sec	sec	Très sec
S1-1	11%	22%	67%	/
S1-9	11%	22%	44%	22%
Les jugements de sensation dans les deux salles sont proches. La majorité des usagers déclarent que l'environnement est plus ou moins sec, cependant, il existe un pourcentage qui confirme la neutralité.				
Acceptabilité	Acceptable	Légèrement inacceptable	Inacceptable	Très inacceptable
S1-1	33%	44%	22%	/
S1-9	11%	56%	22%	11%
Le pourcentage d'inacceptation est important dans les deux salles de classe, cependant, il est plus élevé dans la salle S1-9.				
Préférence	Sans	Peu plus humide	Plus humide	Beaucoup plus humide
S1-1	33%	44%	22%	/
S1-9	/	67%	22%	11%
La majorité des étudiants interrogés dans la salle S1-1 et la totalité dans la salle S1-9 ont préféré avoir plus d'humidité dans leurs environnements.				
<b>Les résultats ne montrent pas l'existence d'une relation entre l'orientation de la façade principale et les jugements vis-à-vis l'humidité relative</b>				

Tableau IX. 10 : Influence de l'orientation de la façade principale sur les jugements de sensation, d'acceptabilité et de préférence vis-à-vis l'humidité relative (Source : Auteur)

Les résultats présentés ci-dessus montrent ainsi que :

Les environnements jugés « Neutre » ne sont pas forcément « acceptables », ceux jugés « Sec » peuvent être « acceptables ».

Avec un taux faible d'humidité relative, les usagers ont préféré avoir leur salle de classe plus humide.

Dans la majorité des cas, les pourcentages des jugements de sensation, d'acceptabilité et de préférence peuvent suivre une superposition des échelles.

## IX.3 Mouvement de l'air :

### IX.3.1 Proportion de la salle de classe :

Les différents résultats sont illustrés dans le tableau ci-dessus. Les évaluations subjectives de sensation du mouvement de l'air se varient entre les trois jugements calme, léger et moyen.

Sensation	Calme	Léger	Moyen	
S6-3	44%	44%	11%	
S6-4	33%	33%	33%	
La majorité des réponses varient du calme à léger dans la salle S6-3 et se répartit d'une manière égale dans la salle S6-4.				
Acceptabilité	Acceptable	Légèrement inacceptable	Inacceptable	Très inacceptable
S6-3	22%	56%	22%	/
S6-4	33%	56%	11%	/
Le taux d'inacceptation du mouvement d'air est important dans les deux salles de classe. il est plus élevé dans la salle S6-3. Ainsi, l'inacceptation varie entre légèrement inacceptable et inacceptable.				
Préférence	Sans	Peu plus de mouvement	Plus de mouvement	
S6-3	22%	56%	22%	
S6-4	22%	67%	11%	
La majorité des occupants, dans les deux salles de classe, ont préféré y avoir plus du mouvement.				
<b>Les résultats ne montrent pas l'existence d'une relation entre la proportion de la salle de classe et les jugements vis-à-vis le mouvement d'air</b>				

Tableau IX. 11 : Influence de la proportion de la salle de classe sur les jugements de sensation, d'acceptabilité et de préférence vis-à-vis la vitesse de l'air (Source : Auteur)

## IX.3.2 Localisation de la salle de classe :

Sensation	Calme	Léger	Moyen	
S1-1	56%	11%	33%	
S1-4	44%	33%	22%	
Un pourcentage important des occupants interrogés ont considéré le mouvement de l'air calme.				
Acceptabilité	Acceptable	Légèrement inacceptable	Inacceptable	Très inacceptable
S1-1	44%	33%	11%	11%
S1-4	44%	22%	33%	/
L'acceptabilité du mouvement d'air est importante dans les deux salles de classe.				
Préférence	Sans	Peu plus de mouvement	Plus de mouvement	
S1-1	33%	44%	22%	
S1-4	11%	56%	33%	
Malgré le taux d'acceptabilité élevé, un pourcentage important des occupants ont préféré d'avoir plus du mouvement dans leurs salles de classe.				
<b>Les résultats ne montrent pas l'existence d'une relation entre la localisation de la salle de classe et les jugements vis-à-vis le mouvement d'air</b>				

Tableau IX. 12 : Influence de la localisation de la salle de classe sur les jugements de sensation, d'acceptabilité et de préférence vis-à-vis la vitesse de l'air (Source : Auteur)

## IX.3.3 Nombre de murs pourvus d'ouvertures :

Sensation	Calme	Léger	Moyen	
S6-1	44%	44%	11%	
S6-2	33%	56%	11%	
Les pourcentages les plus élevés de voies varient entre calme et léger dans les deux salles de classe.				
Acceptabilité	Acceptable	Légèrement inacceptable	Inacceptable	Très inacceptable
S6-1	33%	44%	22%	/
S6-2	33%	44%	22%	/
La répartition des votes est identique dans les deux salles de classe avec un taux d'inacceptation important. Ainsi, l'inacceptation varie entre légèrement inacceptable et inacceptable.				
Préférence	Sans	Peu plus de mouvement	Plus de mouvement	
S6-1	22%	56%	22%	
S6-2	22%	67%	11%	
La majorité des occupants, dans les deux salles de classe, ont préféré y avoir plus du mouvement.				
<b>Les résultats ne montrent pas l'existence d'une relation entre le nombre des murs pourvus d'ouvertures et les jugements vis-à-vis le mouvement d'air</b>				

Tableau IX. 13 : Influence du nombre de murs pourvus d'ouvertures sur les jugements de sensation, d'acceptabilité et de préférence vis-à-vis la vitesse de l'air (Source : Auteur)

## IX.3.4 Pourcentage d'ouvertures :

Sensation	Calme	Léger	Moyen
S1-4	44%	33%	22%
S2-2	56%	44%	/

La majorité des réponses varient du calme au léger dans la salle S2-2 et elle se répartit sur les trois positions dans la salle S1-4.

Acceptabilité	Acceptable	Légèrement inacceptable	Inacceptable	Très inacceptable
S1-4	44%	22%	33%	/
S2-2	22%	67%	11%	/

Le taux d'inacceptation du mouvement d'air est plus élevé dans la salle S2-2. La salle S1-4 présente un taux d'acceptabilité important.

Préférence	Sans	Peu plus de mouvement	Plus de mouvement
S1-4	11%	56%	33%
S2-2	22%	56%	22%

Le taux d'acceptabilité est plus élevé dans la salle S1-4, cependant, un pourcentage important de ses occupants préfère d'avoir plus du mouvement. Donc, l'acceptabilité n'implique pas un « sans changement ».

**Le pourcentage d'ouvertures peut avoir un effet sur les jugements vis-à-vis le mouvement d'air. Cela est expliqué par le fait que possibilité de pénétration de l'air augmente avec l'augmentation de la surface ouverte**

Tableau IX. 14 : Influence du pourcentage d'ouvertures sur les jugements de sensation, d'acceptabilité et de préférence vis-à-vis la vitesse de l'air (Source : Auteur)

**IX.3.5 Orientation de la façade principale :**

Sensation	Calme	Léger	Moyen	
S1-1	56%	11%	33%	
S1-9	44%	44%	11%	
Les réponses se varient entre les trois positions de l'échelle. Un pourcentage important des répondants ont jugé le mouvement d'air comme calme (principalement pour la salle S1-1).				
Acceptabilité	Acceptable	Légèrement inacceptable	Inacceptable	Très inacceptable
S1-1	44%	33%	11%	11%
S1-9	22%	67%	11%	/
Le taux d'inacceptation du mouvement d'air est plus élevé dans la salle S1-9.				
Préférence	Sans	Peu plus de mouvement	Plus de mouvement	
S1-1	33%	44%	22%	
S1-9	22%	56%	22%	
La majorité des occupants, dans les deux salles de classe, ont préféré y avoir plus du mouvement. Cependant ce taux est plus élevé dans la salle S1-9.				
<b>Les résultats ne montrent pas l'existence d'une relation entre l'orientation de la façade principale et les jugements vis-à-vis le mouvement d'air</b>				

Tableau IX. 15 : Influence de l'orientation de la façade principale sur les jugements de sensation, d'acceptabilité et de préférence vis-à-vis la vitesse de l'air (Source : Auteur)

## IX.4 Ensoleillement de la salle de classe :

### IX.4.1 Proportion de la salle de classe :

La répartition des jugements de la gêne par rapport à l'ensoleillement sont résumés dans les tableaux qui suivent.

Salles de classe \ Gêne	Gêne d'ensoleillement		Par rapport					
			Plan du travail		Confort personnel		Eblouissement	
	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non
S6-3	56%	44%	/	100%	/	100%	56%	44%
S6-4	44%	56%	/	100%	/	100%	44%	56%

**D'après les évaluations subjectives :**  
Le pourcentage le plus élevé des occupants gênés par les rayons solaires pénétrant à l'intérieur se trouve dans la salle S6-3. Ainsi, dans les deux salles de classe, la gêne est relative au problème d'éblouissement. Les jugements, dans les deux salles, suivent, donc, la même logique.

**D'après les évaluations objectives :**  
La simulation montre que malgré l'exposition des façades aux rayons solaires, ils n'existent pas des taches solaires à l'intérieur de la salle de classe.

Les résultats de la simulation sont prouvés par les réponses subjectives des occupants ; l'absence de la gêne par rapport au plan du travail et à l'exposition de l'occupant aux rayons solaires démontre que les rayons solaires ne pénètrent pas à l'intérieur des salles de classe. D'autre part, le problème d'éblouissement est lié à la lumière solaire.

**La proportion de la salle de classe ne porte pas une influence sur la répartition de la gêne par rapport à l'ensoleillement**

Tableau IX. 16 : Influence de la proportion de la salle de classe sur la présence et le type de la gêne par rapport à l'ensoleillement (Source : Auteur)

**IX.4.2 Localisation de la salle de classe :**

Gêne Salles de classe	Gêne d'ensoleillement		Par rapport					
			Plan du travail		Confort personnel		Eblouissement	
	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non
<b>S1-1</b>	<b>78%</b>	<b>22%</b>	<b>56%</b>	<b>44%</b>	<b>78%</b>	<b>22%</b>	<b>78%</b>	<b>22%</b>
<b>S1-4</b>	<b>78%</b>	<b>22%</b>	<b>67%</b>	<b>33%</b>	<b>67%</b>	<b>33%</b>	<b>56%</b>	<b>44%</b>
<p><b>D'après les évaluations subjectives :</b> La présence de la gêne est similaire dans les deux salles avec un taux très élevé. Cette gêne est répartie entre les trois types.</p>								
<p><b>D'après les évaluations objectives :</b> La pénétration des rayons solaires, d'une manière similaire, dans les deux salles de classe causant la formation des taches solaires importantes qui atteignent toutes les rangées et spécialement les deux à côté des ouvertures.</p>								
<p>Les réponses subjectives démontrent les résultats de la simulation. La présence de la gêne est causée par la pénétration des rayons solaires par les ouvertures des deux façades Est et Ouest qui sont pourvues des protections solaires inefficaces. L'importance de ces taches est due à l'importance de la quantité pénétrante des rayons solaires.</p> <p style="text-align: center;"><b>La localisation de la salle de classe ne porte pas une influence sur la répartition de la gêne par rapport à l'ensoleillement</b></p>								

Tableau IX. 17 : Influence de la localisation de la salle de classe sur la présence et le type de la gêne par rapport à l'ensoleillement (Source : Auteur)

**IX.4.3 Nombre de murs pourvus d'ouvertures :**

Salles de classe \ Gêne	Gêne d'ensoleillement		Par rapport					
			Plan du travail		Confort personnel		Eblouissement	
	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non
<b>S6-1</b>	<b>33%</b>	<b>67%</b>	/	<b>100%</b>	/	<b>100%</b>	<b>67%</b>	<b>33%</b>
<b>S6-2</b>	<b>67%</b>	<b>33%</b>	/	<b>100%</b>	/	<b>100%</b>	<b>67%</b>	<b>33%</b>

**D'après les évaluations subjectives :**

La gêne présente est liée au problème d'éblouissement. Elle est plus élevée dans la salle de classe S6-2. Cela est expliqué par la répartition des ouvertures sur deux façades pour cette salle.

**D'après les évaluations objectives :**

L'absence des taches solaires à l'intérieur de la salle de classe S6-1 et la présence des petites taches sur le côté Est de la salle S6-2 pour une courte durée.

Les réponses subjectives démontrent les résultats de la simulation ; l'orientation des façades vers le Nord et la présence des brises soleil implique l'absence de la pénétration des rayons solaires à l'intérieur. D'autre part, le problème d'éblouissement est lié principalement à la lumière diffuse.

**Le nombre de murs pourvus d'ouvertures porte une influence sur la répartition de la gêne par rapport à l'ensoleillement**

Tableau IX. 18 : Influence du nombre de murs pourvus d'ouvertures sur la présence et le type de la gêne par rapport à l'ensoleillement (Source : Auteur)

## IX.4.4 Pourcentage d'ouvertures :

Gêne Salles de classe	Gêne d'enseillement		Par rapport					
			Plan du travail		Confort personnel		Eblouissement	
	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non
S1-4	78%	22%	67%	33%	67%	33%	56%	44%
S2-2	67%	33%	33%	67%	22%	78%	56%	44%

**D'après les évaluations subjectives :**

Un pourcentage important de la gêne est évalué dans les deux salles de classe, il est plus élevé dans la salle S1-4. Ainsi, la gêne est répartie entre les trois types. Par rapport au plan du travail et au confort personnel, elle est importante dans la salle S1-4.

**D'après les évaluations objectives :**

Les deux salles de classe sont le siège de formation des taches solaires, cependant, leur importance est plus marquée dans la salle S1-4.

Les réponses subjectives démontrent les résultats de la simulation ; la différence de l'importance de la présence et le type de la gêne est due à la différence du pourcentage de la surface vitrée.

**Le pourcentage d'ouvertures porte une influence sur la répartition de la gêne par rapport à l'enseillement**

Tableau IX. 19 : Influence du pourcentage d'ouvertures sur la présence et le type de la gêne par rapport à l'enseillement (Source : Auteur)

### IX.4.5 Orientation de la façade principale :

Salles de classe \ Gêne	Gêne d'ensoleillement		Par rapport					
			Plan du travail		Confort personnel		Eblouissement	
	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non
<b>S1-1</b>	<b>78%</b>	<b>22%</b>	<b>56%</b>	<b>44%</b>	<b>78%</b>	<b>22%</b>	<b>78%</b>	<b>22%</b>
<b>S1-9</b>	<b>44%</b>	<b>56%</b>	<b>/</b>	<b>100%</b>	<b>/</b>	<b>100%</b>	<b>44%</b>	<b>56%</b>

**D'après les évaluations subjectives :**  
La gêne est plus élevée dans la salle S1-1 où elle se répartie entre les trois types. Pour la salle S1-9, la gêne est relative seulement au problème d'éblouissement.

**D'après les évaluations objectives :**  
La présence des taches solaires importantes à l'intérieur de la salle de classe S1-1 et leur absence dans la salle S1-9. Cela est dû principalement à l'orientation des deux salles.

Les résultats de la simulation sont prouvés par les réponses subjectives. La présence et l'importance de la gêne est relative à l'orientation des façades.

**L'orientation des façades porte une influence sur la répartition de la gêne par rapport à l'ensoleillement**

Tableau IX. 20 : Influence de l'orientation de la façade principale sur la présence et le type de la gêne par rapport à l'ensoleillement (Source : Auteur)

La formation des taches solaires est en rapport direct avec les ouvertures ; leur surface, leur répartition, leur orientation ainsi que leur protection solaire portent une influence sur la gêne des occupants.

## IX.5 Evaluation du confort hygrothermique global :

Les résultats montrent une relation forte entre la satisfaction vis-à-vis le confort global et l'acceptabilité de la température intérieure ainsi que la gêne par rapport à l'ensoleillement.

### IX.5.1 Proportion de la salle de classe :

	Confortable	Légèrement inconfortable	Inconfortable	Très inconfortable
<b>S6-3</b>	/	<b>44%</b>	<b>56%</b>	/
<b>S6-4</b>	<b>11%</b>	<b>67%</b>	<b>22%</b>	/
Le pourcentage des personnes qui ont prouvé l'inconfort dans leurs salles de classe est plus élevé dans la salle S6-3.				
L'inacceptation de la température intérieure est plus élevée dans la salle S6-3. La gêne par rapport à l'ensoleillement est plus élevée dans la salle S6-3.				
<b>La proportion de la salle de classe porte une influence sur la sensation du confort hygrothermique</b>				

Tableau IX. 21 : Influence de la proportion de la salle de classe sur le confort hygrothermique  
(Source : Auteur)

### IX.5.2 Localisation de la salle de classe :

	Confortable	Légèrement inconfortable	Inconfortable	Très inconfortable
<b>S1-1</b>	/	<b>11%</b>	<b>56%</b>	<b>33%</b>
<b>S1-4</b>	/	<b>22%</b>	<b>56%</b>	<b>22%</b>
Le pourcentage des personnes qui ont jugé l'environnement très inconfortable est plus élevé dans la salle S1-1. Donc, l'insatisfaction est plus importante dans cette salle.				
L'inacceptation de la température intérieure est plus élevée dans la salle S6-3.				
<b>La localisation de la salle de classe porte une influence sur la sensation du confort hygrothermique.</b>				

Tableau IX. 22 : Influence de la localisation de la salle de classe sur le confort hygrothermique  
(Source : Auteur)

**IX.5.3 Nombre de murs pourvus d'ouvertures :**

	Confortable	Légèrement inconfortable	Inconfortable	Très inconfortable
<b>S6-1</b>	<b>11%</b>	<b>44%</b>	<b>44%</b>	<b>/</b>
<b>S6-2</b>	<b>/</b>	<b>/</b>	<b>89%</b>	<b>11%</b>
Le pourcentage des personnes qui ont prouvé l'inconfort dans leurs salles de classe est plus élevé dans la salle S6-2.				
L'inacceptation de la température intérieure est identique dans les deux salles de classe. La gêne par rapport à l'ensoleillement est plus élevée dans la salle S6-2.				
<b>Le nombre de murs pourvus d'ouvertures porte une influence sur la sensation du confort hygrothermique.</b>				

Tableau IX. 23 : Influence du nombre de murs pourvus d'ouvertures sur le confort hygrothermique  
(Source : Auteur)

**IX.5.4 Pourcentage d'ouvertures :**

	Confortable	Légèrement inconfortable	Inconfortable	Très inconfortable
<b>S1-4</b>	<b>/</b>	<b>22%</b>	<b>56%</b>	<b>22%</b>
<b>S2-2</b>	<b>/</b>	<b>22%</b>	<b>56%</b>	<b>22%</b>
Le pourcentage des personnes qui ont prouvé l'inconfort est identique dans les deux salles de classe.				
L'inacceptation de la température intérieure est importante dans les deux salles de classe, elle est plus élevée dans la salle S1-4. La gêne par rapport à l'ensoleillement est plus élevée dans la salle S1-4.				
<b>Le pourcentage d'ouvertures porte une influence sur la sensation du confort hygrothermique</b>				

Tableau IX. 24 : Influence du pourcentage d'ouvertures sur le confort hygrothermique  
(Source : Auteur)

**IX.5.5 Orientation de la façade principale :**

	Confortable	Légèrement inconfortable	Inconfortable	Très inconfortable
<b>S1-1</b>	/	<b>11%</b>	<b>56%</b>	<b>33%</b>
<b>S1-9</b>	/	<b>56%</b>	<b>44%</b>	/
La sensation d'inconfort est plus élevée dans la salle de classe S1-1.				
L'inacceptation de la température intérieure est plus élevée dans la salle S1-1. La gêne par rapport à l'ensoleillement est plus élevée dans la salle S1-1.				
<b>L'orientation des façades porte une influence sur la sensation du confort hygrothermique</b>				

Tableau IX. 25 : Influence de l'orientation de la façade principale sur le confort hygrothermique  
(Source : Auteur)

## Conclusion :

Cette conclusion est une synthèse des résultats de la partie expérimentale (le présent chapitre et les deux chapitres précédents).

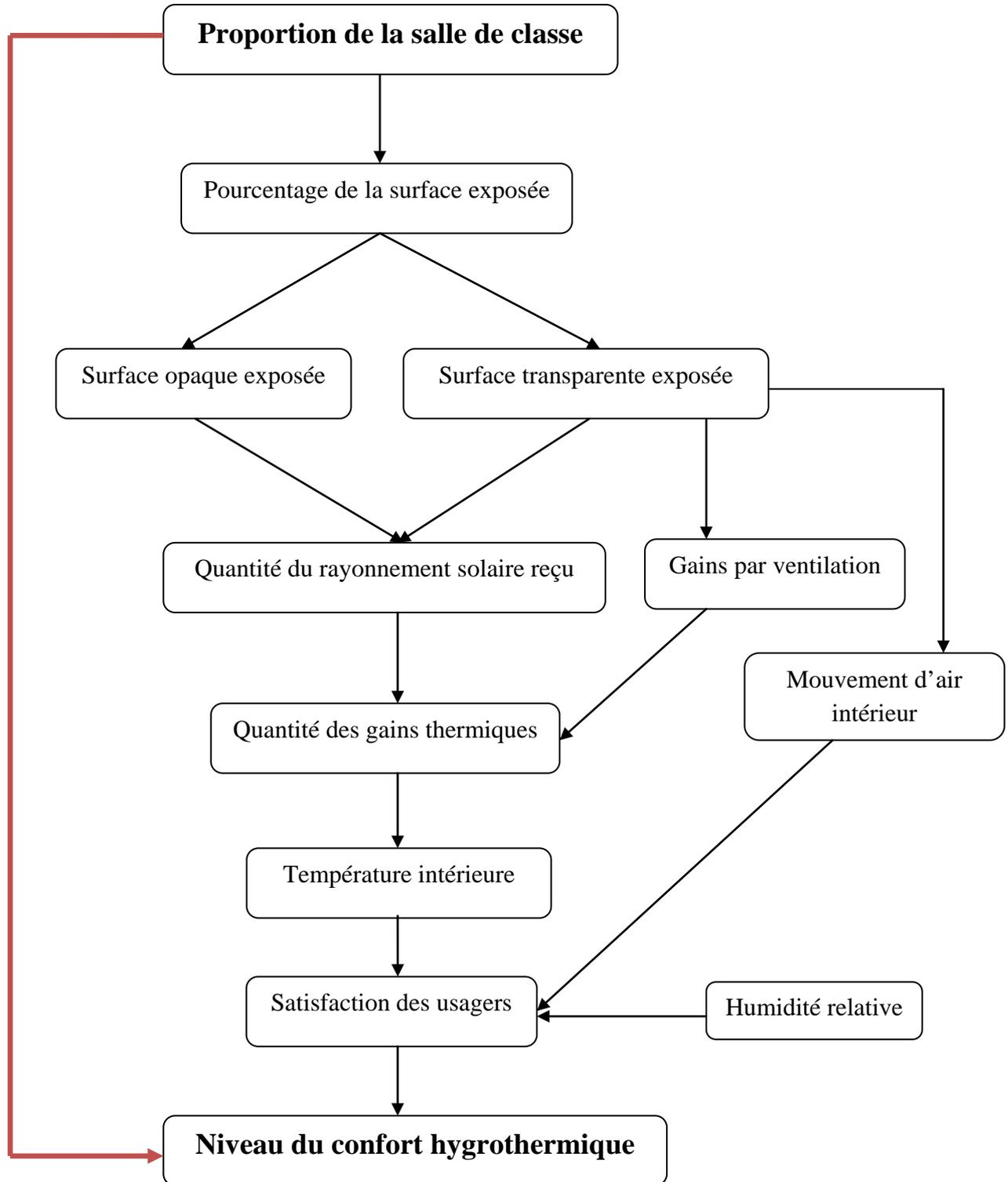


Fig IX. 2 : Influence de la proportion de la salle de classe sur le confort hygrothermique  
(Source : Auteur)

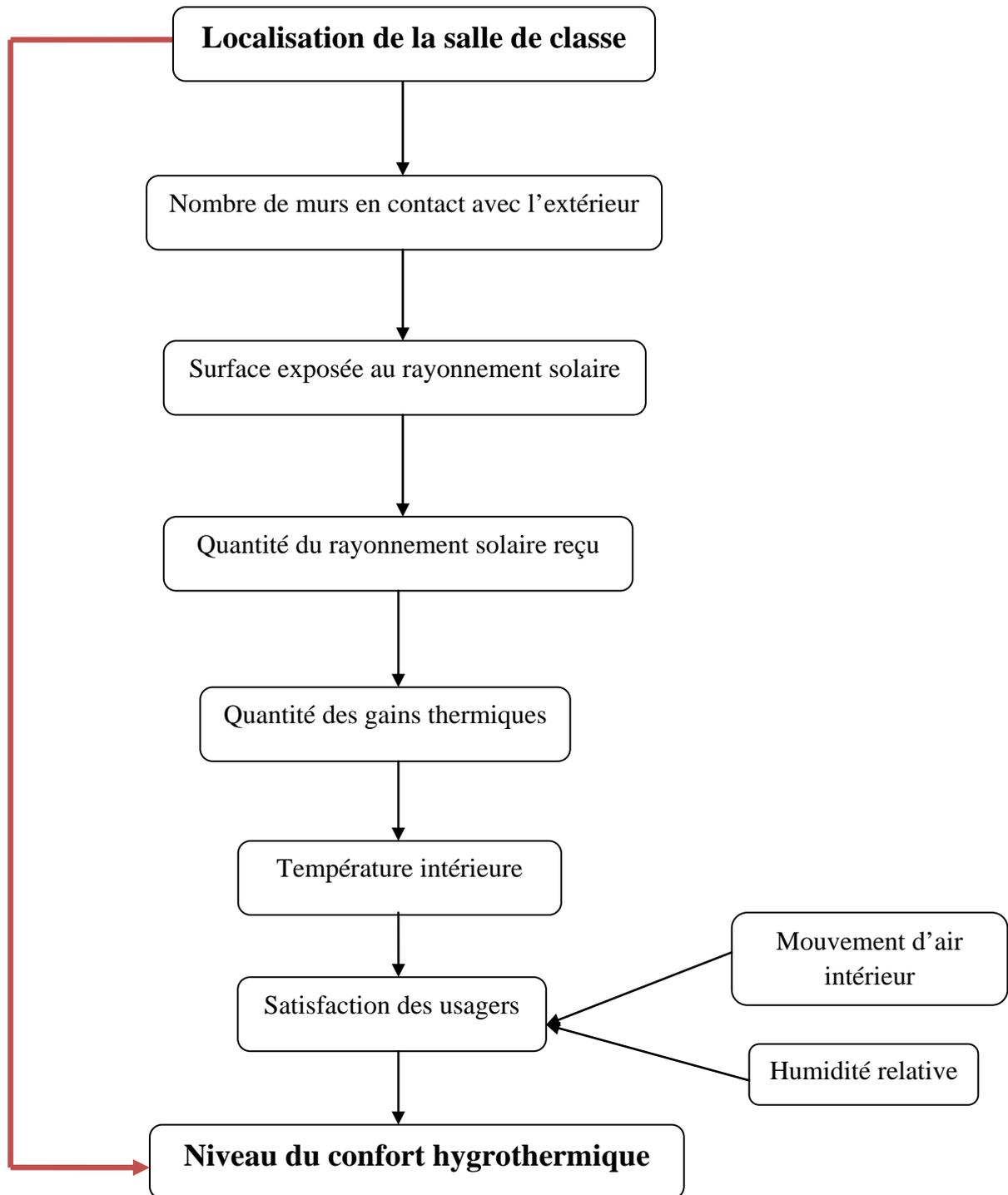


Fig IX. 3 : Influence de la localisation de la salle de classe sur le confort hygrothermique  
(Source : Auteur)

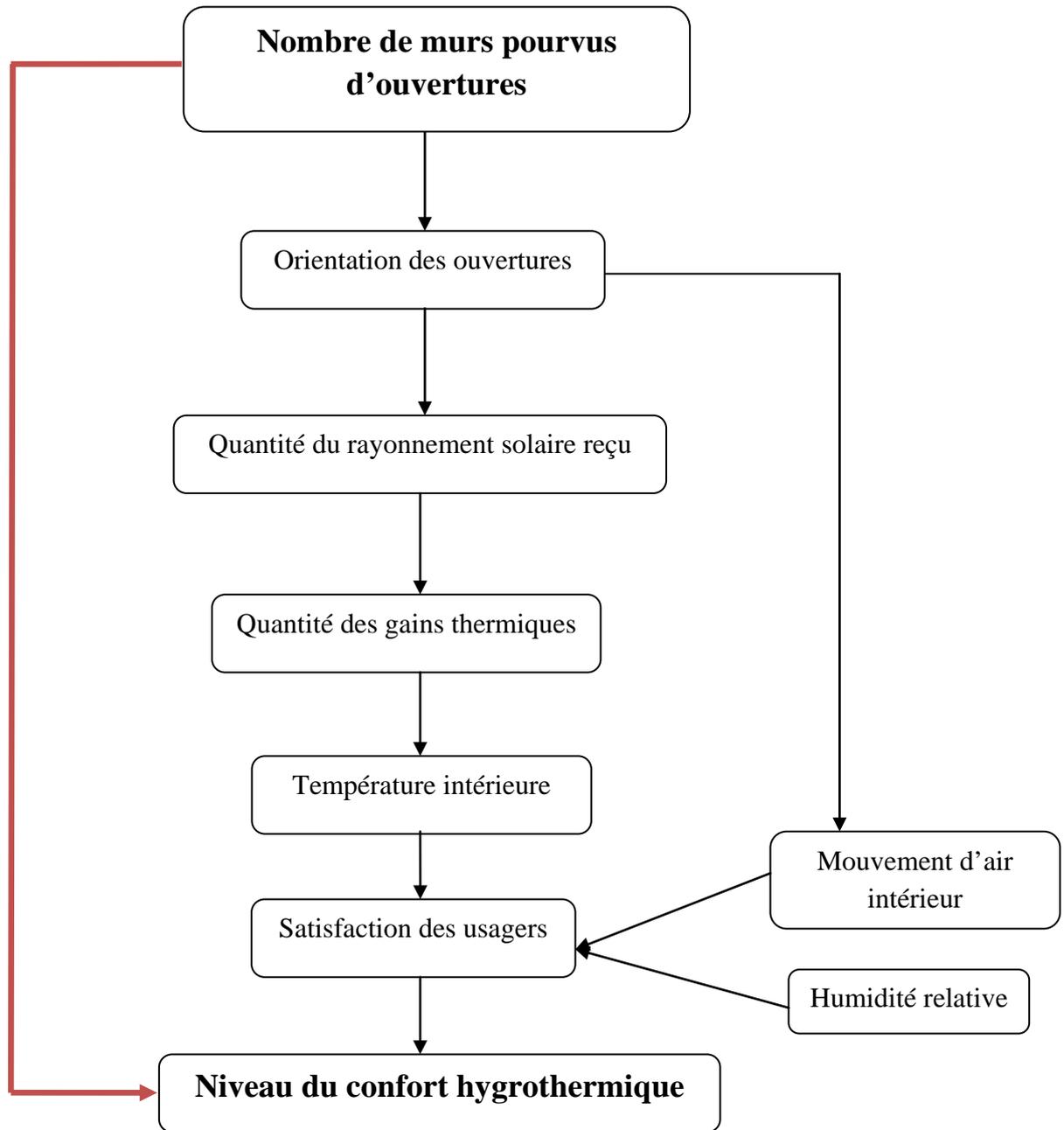


Fig IX. 4 : Influence du nombre de murs pourvus d'ouvertures sur le confort hygrothermique  
(Source : Auteur)

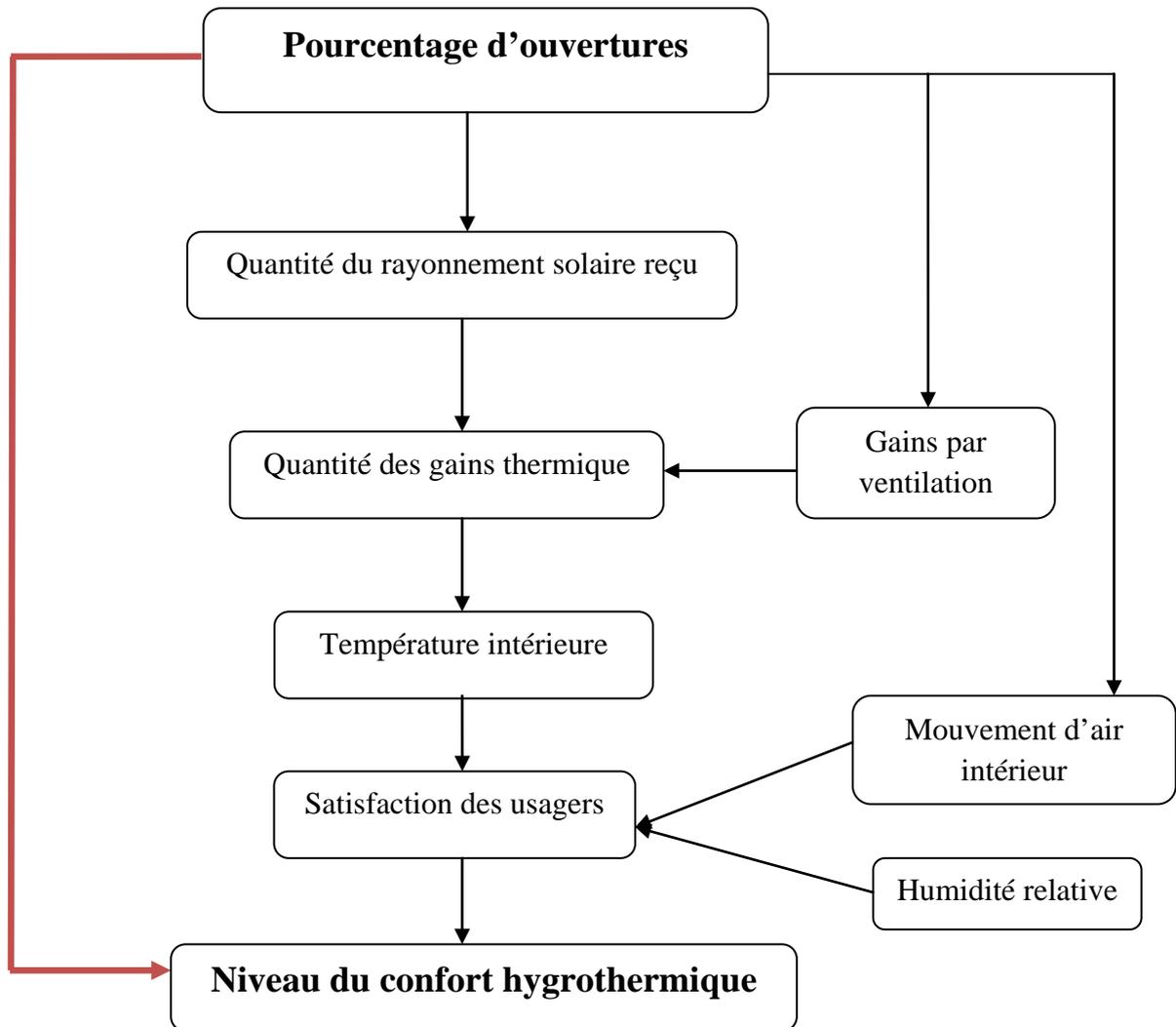


Fig IX. 5 : Influence du pourcentage d'ouverture sur le confort hygrothermique  
(Source : Auteur)

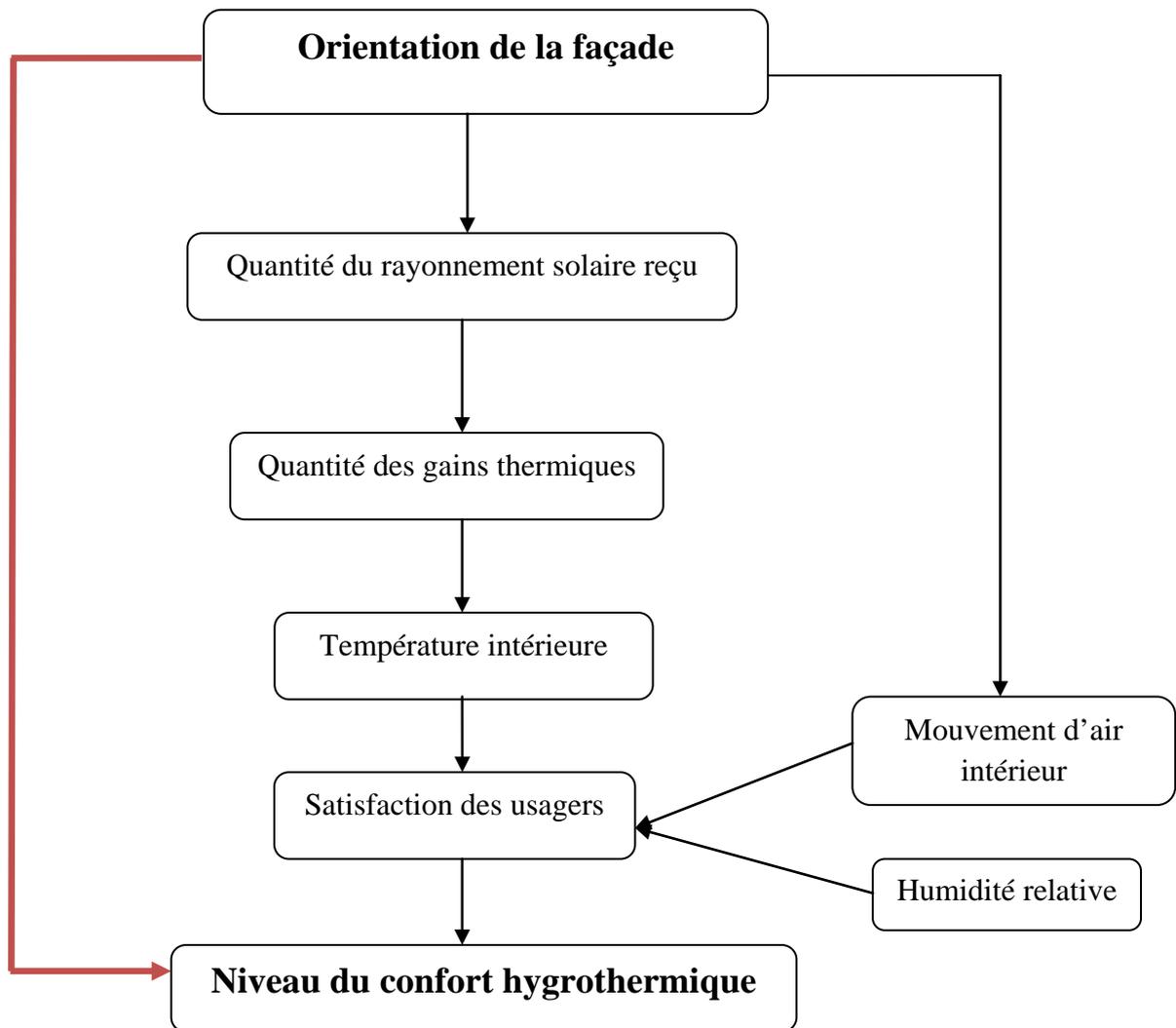


Fig IX. 6 : Influence de l'orientation des façades sur le confort hygrothermique  
(Source : Auteur)

# CONCLUSION GÉNÉRALE

Avec le développement incessant des exigences du confort hygrothermique dans les bâtiments, les solutions actives fortes consommateurs d'énergie ont occupé une grande place dans la conception architecturale et elles sont devenues la clé de résolution des problèmes d'inconfort.

Dans des climats chauds et secs, ce problème d'inconfort lié à la surchauffe générée par les fortes radiations solaires s'accroît et la problématique d'utilisation irrationnelle de l'énergie pour le refroidissement devient, donc, un vrai souci.

Les bâtiments éducatifs sont d'une importance vitale vu le rôle important qu'ils remplissent au sein de la société. De ce fait, un confort satisfaisant doit être assuré pour pouvoir se concentrer sur l'étude et accomplir ses tâches.

Ainsi, face aux répercussions négatives que porte un environnement hygrothermique insatisfaisant sur les capacités d'apprentissage, la qualité hygrothermique doit être considérée minutieusement. Sa prise en compte dans des phases initiales de la conception aide à surmonter le problème des rajouts artificiels dans les bâtiments. L'objectif à suivre est, donc, de chercher une adéquation entre la conception du bâtiment et son environnement climatique afin d'éviter les problèmes d'inconfort.

La présente recherche avait comme but principal d'évaluer et de mesurer l'impact de la forme architecturale des bâtiments d'enseignement supérieur sur le confort hygrothermique des étudiants sous des conditions d'un climat chaud et sec.

Pour ce faire et afin d'atteindre nos objectifs, une recherche théorique a été entretenue, en premier lieu, dans le but de comprendre tous les éléments théoriques de base en rapport avec le sujet de recherche contribuant ainsi à la canalisation de la présente étude vers les objectifs ciblés.

D'abord, la forme produite d'un bâtiment fait référence à son contexte, elle est le résultat d'une synthèse de plusieurs facteurs qui peuvent favoriser ou limiter sa production. Les facteurs d'ordre technique, tels que les matériaux de construction, et physique, tels que le climat et les données du site d'implantation, paraissent avoir une influence cruciale. Ils prennent, ainsi, une grande part dans la création d'un environnement intérieur confortable favorisant la santé, le bien-être et la productivité de ses occupants.

Le confort hygrothermique, de plus en plus, prouve une importance capitale. Dans les bâtiments éducatifs, il participe à la création d'un environnement éducatif favorable contribuant, ainsi, à atteindre des niveaux élevés de la performance d'apprendre et d'étudier.

La sensation du confort hygrothermique dépend d'une multitude de facteurs à savoir ceux liés à l'individu (métabolisme, activité et habillement) et ceux liés à l'environnement physique (température de l'air, température des parois, humidité relative et vitesse de l'air). Chacun de ces facteurs influence et est influencé par les autres, donc, la détermination d'un environnement hygrothermique adéquat implique la prise en compte de l'ensemble de ces facteurs.

En outre, l'importance que suscite la qualité hygrothermique des espaces intérieures rend son évaluation cruciale. Plusieurs méthodes et démarches ont été élaborées pour faciliter et simplifier cette évaluation.

Les recherches récentes favorisent l'étude du confort hygrothermique par l'intermédiaire de l'approche adaptative qui accompagne les résultats d'investigation, qui permet la mesure des paramètres physiques de l'environnement hygrothermique, avec les réponses subjectives des occupants par des enquêtes en se basant sur des échelles d'évaluation telle l'ASHRAE.

L'évaluation du confort hygrothermique et son intégration depuis les premières phases de la conception architecturale permet de réduire la consommation énergétique pour la climatisation et participe, alors, à améliorer la performance thermique d'une forme architecturale donnée. D'autre part, la forme du bâtiment, conçue et construite en rapport avec son contexte climatique, joue le rôle d'un filtre régulateur qui modifie le climat extérieur, avec ses larges variations, pour créer un environnement intérieur confortable. Donc, « *La qualité architecturale participe aux conditions du confort intérieur, ou réciproquement, le confort offert par le bâtiment est l'un des aspects de son architecture* » (Roulet, 2004).

La forme du bâtiment, dès qu'elle est déterminée, influence, par ses caractéristiques, positivement ou négativement la performance thermique.

En premier lieu, le degré d'exposition de l'enveloppe du bâtiment aux conditions du climat extérieur et principalement au rayonnement solaire direct détermine la quantité des gains thermiques. Ainsi, ce rayonnement solaire reçu par les parois exposées est proportionnel à leurs orientations. Donc, le concepteur doit estimer soigneusement les résultats du choix d'une telle orientation. En outre, la quantité des gains thermiques est affectée par le type des parois constituant l'enveloppe ; horizontales ou verticales, opaques ou transparentes.

Ce dernier type présente une source principale des gains, de surchauffe et d'inconfort thermique. Donc, par leurs caractéristiques formelles et dimensionnelles, ces surfaces vitrées doivent nécessairement être conçues de la manière qui permet d'améliorer la

performance thermique du bâtiment durant toute l'année. Ainsi, les protections solaires est l'une des solutions architecturales qui aident à atteindre cet objectif ; elles participent, selon leurs différentes formes et dimensions, à protéger les surfaces opaques et transparente des radiations solaires et à contrôler leur pénétration à l'intérieur des espaces.

Donc, afin d'atteindre une meilleure performance thermique et garantir un confort satisfaisant, le point doit être mis sur l'ensemble de ces différentes caractéristiques de la forme du bâtiment.

A la variété des fonctions que remplissent les différents types de bâtiments, la recherche d'un confort satisfaisant reste une variable stable dans le temps et dans l'espace. Dans les bâtiments éducatifs, qui occupent une position clé dans les sociétés, un confort minimal est exigé pour pouvoir se concentrer sur l'étude et accomplir ses tâches.

L'environnement physique du bâtiment éducatif peut être considéré en tant que seconde enseignant (Sanoff, non daté). Ainsi, plusieurs recherches ont met l'accent sur l'influence, positive ou négative, de ses conditions thermiques, visuelles, acoustiques et olfactives de l'environnement des salles de classe.

L'importance des activités visuelles telles que l'écriture et la lecture, au cours des études, implique la nécessité d'assurer un confort visuel satisfaisant. Plusieurs recherches ont confirmé l'existence d'une relation étroite entre l'éclairage naturel, dans les salles de classe, et la performance d'apprendre, le progrès et la réussite des étudiants. En outre, les couleurs dans les bâtiments éducatifs peuvent affecter le confort visuel, la capacité d'attention et le rendement des étudiants. Elles peuvent, aussi, favoriser ou défavoriser le comportement des étudiants.

L'étude se repose, ainsi, sur les méthodes élémentaires de communication (paroles et écoute) ce qui dévoile la nécessité d'un environnement sonore satisfaisant qui participe à l'amélioration des capacités de communiquer et de concentrer sur les tâches éducatives.

Des conditions favorables dans les bâtiments éducatifs contribuent à diminuer le taux de l'absentéisme. Cependant, une nuisible qualité d'air intérieur peut porter des influences négatives sur la santé physique et mentale des étudiants ce qui nécessite l'absence et diminue la concentration et le bon rendement. Une bonne ventilation est, donc, indispensable pour améliorer les conditions olfactives.

Les ouvertures peuvent, d'un côté, participer à cette amélioration, et d'un autre côté, elles améliorent les conditions d'éclairage naturel. Cependant, elles peuvent être la source des principaux gains thermiques et, donc, d'inconfort ce qui influence négativement sur les étudiants.

La température intérieure des salles de classe porte des influences négatives sur l'état physique (la performance des étudiants à accomplir des tâches différentes comme la lecture, le calcul et la mémorisation) et psychologique (réduction des capacités mentales et influence sur le comportement).

Des études ont montré, ainsi, que la baisse de la réussite des étudiants est en relation forte avec l'augmentation de la température intérieure. Cette augmentation est plus ressentie lorsque les valeurs d'humidité relative sont importantes. Ces conditions défavorables de température et d'humidité augmentent, aussi, les possibilités du stress thermique défavorisant les capacités des étudiants. Quelques études ont conclu que la meilleure plage de température pour accomplir les tâches de l'éducation est comprise entre 20 et 23°C. Cependant d'autres études ont montré qu'une température stable est défavorable.

Ces constats montrent l'importance d'assurer des conditions hygrothermiques favorables dans les bâtiments éducatifs.

De multiples études ont été menées, donc, dans le but d'évaluer le confort hygrothermique dans les bâtiments éducatifs, d'énumérer les problèmes qui conduisent à des conditions hygrothermiques insuffisantes et de chercher des solutions fondées essentiellement sur la conception architecturale.

Ainsi, ces études ont été basées sur l'approche adaptative évaluant à la fois paramètres physiques du confort et les réponses subjectives des étudiants.

D'un autre côté, les modèles pédagogiques influencent, aussi, sur la performance de l'éducation. Ces modèles définissent, aussi, les typologies des salles de classe qui déterminent, à leur tour, les typologies et les modèles d'organisation des bâtiments éducatifs.

En Algérie, afin d'absorber les insuffisances enregistrées en matière des infrastructures éducatives, des modèles et des prototypes sont généralisés et adaptés à des différents contextes climatiques. Ainsi, les bâtiments d'enseignement supérieur suivent, aussi, cette logique qui favorise l'aspect quantitatif au détriment de la qualité ce qui a conduit à des conséquences négatives d'inconfort intérieur dans des bâtiments nécessitant un niveau satisfaisant du confort afin de remplir leur fonction.

Donc, dans le but d'évaluer le confort hygrothermique dans les bâtiments d'enseignement supérieur sous un climat aride et de ressortir l'impact de la forme architecturale, notre choix est opté pour le campus universitaire Mohamed Kheider pour des raisons de représentativité des modèles les plus récurrents des bâtiments d'enseignement supérieur et de faisabilité de l'étude.

Notre échantillon d'étude a été composé, donc, de six (06) blocs d'enseignement réservés aux séances de travaux dirigés à savoir :

- Bloc I : Faculté des sciences et technologies ;
- Bloc II : Faculté des sciences économiques, commerciales et de gestion ;
- Bloc III : Faculté des lettres et des langues ;
- Bloc IV : Bloc Magherbi ;
- Bloc V : Nouveau département d'architecture ;
- Bloc VI : Bloc de l'ancien noyau.

Après avoir organisé les informations relatives à notre échantillon d'étude portant une relation avec nos objectifs, il a été lieu de constituer un modèle conceptuel et une méthode d'analyse à appliquer pour pouvoir vérifier les hypothèses et répondre aux questions posées. Cette étape a été ébauchée par une analyse typologique dont le but principal est de synthétiser les typologies existantes des salles de classe et des blocs d'enseignement au sein de l'échantillon d'étude, elle a été basée sur plusieurs critères ; pour les salles de classe, elle est basée sur :

- Forme de la salle de classe (proportion, localisation, nombre de murs pourvus d'ouvertures) ;
- Ouvertures (pourcentage, position dans le mur de la façade) ;
- Orientation (orientation de la façade principale).

Et pour les blocs, elle est basée sur :

- Organisation spatiale des salles de classe ;
- Forme et disposition des espaces de distribution.

Pour résultat, cette analyse a donné l'effectif de vingt et une (21) typologies pour les salles de classe et de trois (03) typologies pour les blocs d'enseignement. Ces différentes typologies ont été utilisées pour vérifier l'impact des différentes variables étudiées (forme, ouvertures, orientation et protection solaire) sur les niveaux du confort hygrothermique intérieur. Ainsi, l'étude de l'impact de chaque variable a été mise en place par l'étude de l'impact de ses différentes caractéristiques comme suit :

- Forme : proportion, localisation et nombre de murs pourvus d'ouvertures de la salle de classe ;
- Ouvertures : pourcentage d'ouverture traduit par le rapport « surface ouvertures / surface plancher » ;
- Orientation : orientation de la façade principale ;

- Protection solaire : différents type de brises soleil existants dans l'échantillon d'étude.

D'un autre côté, le confort hygrothermique présente deux aspects l'objectif et le subjectif, donc, son étude implique un double choix des méthodes d'évaluation, une quantitative et l'autre qualitative. Notre choix a été opté respectivement pour la méthode expérimentale et la méthode d'enquête. Leur application a été obtenue par l'utilisation des techniques suivantes : l'expérimentation simulée par l'utilisation du logiciel de simulation « Ecotect® V.2011 » et le questionnaire auto-administré.

Ainsi, chacune des techniques choisies implique des limites dans son application ce qui a montré l'utilité d'accompagner les résultats de l'une aux résultats de l'autre. Donc, ces deux techniques ont été complémentaires au cours de l'application de notre démarche du travail.

En outre, l'étude du confort hygrothermique nous a indiqué d'aborder différents paramètres prenant part dans son évaluation. Et pour pouvoir arriver aux finalités de notre étude, l'application de notre démarche du travail à l'aide des techniques choisies a été organisée et structurée comme suit :

- Choix des typologies convenables pour l'évaluation de chacune des variables qui a été basée sur la comparaison ;
- Etude de l'ensoleillement de l'enveloppe (façades et toitures), des taches solaires et de l'éclairage naturel à l'intérieur des typologies ;
- Etude de l'évolution temporelle de la température intérieure. Les résultats de cette étape et de l'étape précédente ont été fournis à l'aide de la simulation via Ecotect® ;
- Etude des évaluations subjectives de la température intérieure, de l'humidité relative, de la vitesse de l'air, de la gêne d'ensoleillement et de l'éclairage naturel. Les résultats de cette étape ont été extraits à partir du traitement des informations fournies par le questionnaire.

## Les résultats de cette étude :

Notre étude nous a menés à des résultats organisés dans ce qui suit :

- L'augmentation de la proportion de la salle de classe est traduite par une augmentation de la surface d'enveloppe opaque et transparente exposée aux radiations solaires, ce qui implique des gains thermiques supplémentaires par absorption (parties opaque et transparente) et par transmission direct (partie transparente). Ainsi, suite à cette augmentation des gains thermique, la température intérieure s'augmente.  
De plus, elle porte un effet sur les gains dus à la ventilation et sur le mouvement de l'air à l'intérieur, cet effet est relatif à l'augmentation de la surface vitrée.
- La localisation de la salle de classe a été définie par le nombre de mur en contact avec l'extérieur et plus ce nombre est important, plus les échanges thermiques avec le milieu extérieur sont importants et principalement au cas où les parois sont exposées à des radiations solaires directes engendrant, ainsi, des gains thermiques directs selon les propriétés thermophysiques des matériaux de construction constituant l'enveloppe, ce qui participe à l'augmentation de la température intérieure.
- En cas de la distribution de la surface vitrée sur plusieurs façades, les résultats seront différents par rapport au cas où cette surface est distribuée sur une même façade. Cela est expliqué principalement par la différence de l'orientation de cette surface vitrée ce qui donne des quantités différentes des gains thermiques par l'intermédiaire des ouvertures, et par la suite, une différence des valeurs de la température intérieure. Ainsi, cette différence d'orientation des ouvertures peut influencer sur le mouvement de l'air à l'intérieur des salles de classe.
- Les ouvertures, par leur faible résistance, sont le siège des principaux transferts de chaleur, elles présentent la source la plus importante des gains thermiques intérieurs relatifs à la pénétration des rayons solaires directs. De ce fait, une augmentation de la surface vitrée implique logiquement une augmentation vite des gains thermiques et par la suite de la température intérieure.  
Cette surface vitrée peut, aussi, engendrer des gains supplémentaires dus à la ventilation à travers les ouvertures ouvertes. D'autre part, elle peut participer à l'augmentation de mouvement d'air à l'intérieur des salles de classe.
- L'augmentation de la température intérieure est étroitement liée à l'augmentation des gains thermiques à l'intérieur qui sont dus principalement à la quantité et l'intensité du rayonnement solaire reçu par les parois.

D'autre part, pour une même surface vitrée, la quantité et l'intensité du rayonnement solaire reçu sont relatives à l'orientation de cette paroi.

L'orientation peut influencer, ainsi, sur les gains thermiques relatifs à la ventilation et sur le mouvement de l'air intérieur.

L'orientation Ouest reste la plus critique du fait qu'elle cumule l'inconvénient des fortes radiations solaires reçues avec les hautes valeurs de la température extérieure. Donc, elle est le siège des gains thermiques importants.

L'orientation Nord est la moins influencée par les radiations solaires, cependant, elle est défavorable en période froide.

L'orientation Sud est jugée la plus adéquate du fait qu'elle reçoit les rayons solaires avec un important angle d'incidence en période chaude.

- L'abaissement des valeurs de la température intérieure est en rapport fort avec l'efficacité de la protection solaire de l'enveloppe de la salle de classe. Une bonne protection solaire participe à empêcher les rayons solaires d'atteindre l'enveloppe et de pénétrer à l'intérieur, donc, elle participe à la diminution de la température intérieure.

L'orientation Sud est la plus facile à protéger ; avec une protection solaire horizontale, elle peut fournir des bons résultats.

- Le problème d'éblouissement est plus important lorsque la surface vitrée est importante, il peut être relatif à la lumière diffuse ou la lumière solaire.

D'autre part, la distribution de la lumière naturelle est relative à la surface des ouvertures ainsi que leur distribution. La répartition de la lumière naturelle est plus hétérogène avec le type d'éclairage unilatéral et plus homogène avec le type bilatéral. Cependant, les parties de la salle de classe proches des ouvertures souffrent, souvent, d'un problème d'éblouissement.

- La température intérieure est le paramètre le plus déterminant du confort hygrothermique dans les bâtiments éducatifs, sous un climat chaud et sec.
- L'évaluation subjective suit une logique de superposition des échelles de sensation, d'acceptabilité et de préférence. Cependant, dans quelques cas, elle peut s'échapper de cette logique.

Les occupants peuvent trouver acceptables des températures intérieures au-delà de la zone du confort.

La neutralité thermique n'implique pas l'acceptabilité de l'environnement thermique, ainsi elle n'implique pas le confort.

Les résultats soulignent, donc, l'influence de chacune des variables étudiées sur le confort hygrothermique à savoir :

- La forme de la salle de classe ;
- Les ouvertures de la salle de classe ;
- L'orientation de la salle de classe ;
- La protection solaire de la salle de classe.

Et puisque le bloc d'enseignement est composé d'un nombre de salles de classe assemblées selon un modèle d'organisation et par l'intermédiaire d'un espace de distribution, sa typologie porte une influence sur le confort hygrothermique intérieur.

Cela nous permet de confirmer nos hypothèses ; principale « Il semble que la forme architecturale des bâtiments d'enseignement supérieur est un élément déterminant qui influence le confort hygrothermique des étudiants » et secondaires :

1. L'orientation des bâtiments d'enseignement supérieur, selon le climat, constitue un élément important qui peut influencer positivement ou négativement le confort hygrothermique des étudiants.
2. De tous les composants de l'enveloppe du bâtiment, les ouvertures sont l'élément le plus critique en raison de leur complexité. Selon leurs dimensions, elles influencent le confort hygrothermique des étudiants dans les bâtiments d'enseignement supérieur.
3. Les protections solaires dans un bâtiment, selon leur conception et leurs dimensions, jouent un rôle complémentaire par le fait qu'elles permettent ou bien empêchent, selon les périodes, la pénétration des rayons solaires directs. Donc, elles participent au maintien du confort hygrothermique des étudiants dans les bâtiments d'enseignement supérieur.

### Les limites de l'étude :

Cette étude nous a permis d'arriver à des résultats importants. Cependant, comme toute recherche scientifique, elle présente des limites :

- Le périmètre climatique de l'étude est celui du climat chaud et sec représenté par la ville de Biskra.
- Le choix des bâtiments d'enseignement supérieur qui abritent une fonction différente par rapport à d'autres bâtiments.
- L'échantillon d'étude est limité aux blocs d'enseignement réservés aux séances de travaux dirigés. D'autres blocs tels que les amphithéâtres, les blocs de salles de dessin et les laboratoires ne sont pris en charge par cette étude.
- L'étude a été limitée à la période chaude, la plus critique pour le type de climat choisi. Ainsi, les résultats obtenus sont relatifs à la durée d'occupation des blocs d'enseignement.
- L'échantillon choisi pour l'enquête a été considéré comme représentatif, cependant, son élargissement paraît nécessaire dans d'autres études pour pouvoir au mieux valider les résultats.
- L'étude a été établie en se basant sur l'évaluation du confort hygrothermique. Nous avons essayé de suivre la démarche d'équilibre thermique / éclairage, mais, d'une manière sommaire. Ainsi, elle n'englobe pas une évaluation de la performance thermique totale.
- Les matériaux de construction de l'enveloppe de notre échantillon d'étude sont ceux de l'enveloppe la plus récurrente dans la construction de ce type de bâtiments (double paroi, dalle corps creux, vitrage simple, etc.).
- L'étude n'a pas englobé toutes les variables de la forme architecturale.
- Pour les salles de classe, l'étude a été centrée sur l'évaluation de l'impact de chacune des variables étudiées sur le niveau du confort hygrothermique en se basant sur une comparaison entre les typologies qui présentent une dissemblance pour la variable concernée. Cependant, cette comparaison n'a pas évalué l'influence de l'ensemble des variables simultanément. Une étude plus approfondie est nécessaire à ce stade pour pouvoir évaluer l'influence de la multitude des variables de la forme architecturale sur le confort hygrothermique tout en utilisant des méthodes plus spécialisées.

### Recommandations :

- Choisir la forme de la salle de classe qui permet de limiter au plus possible l'exposition de l'enveloppe aux radiations solaires directes. Les salles de classe qui possèdent plus que deux façades en contact avec l'extérieur sont à éviter.
- Choix d'une surface d'ouvertures de la façon à satisfaire les besoins d'éclairage et de ventilation et à éviter les surchauffes.

La répartition bilatérale des ouvertures est la plus favorable pour avoir un éclairage adéquat. Cependant, il faut éviter la disposition des ouvertures sur la façade en dos des étudiants pour éviter le problème des ombres gênantes et des reflets sur le tableau.

Ainsi, afin d'éviter le problème des gains thermiques, la protection et la mise à l'ombre de l'enveloppe opaque et transparente est indispensable, elle joue un rôle prépondérant dans l'abaissement de la température intérieure et participe à la création d'un environnement intérieur confortable. La protection solaire, peut, aussi participer à éviter le problème d'éblouissement.

Choisir le type et le dimensionnement de la protection solaire de telle manière à respecter l'équilibre thermique / éclairage et prendre en considération l'orientation de la façade lors du choix de type de protection solaire ; par exemple, la protection solaire horizontale est favorable en orientation Sud.

- Choisir l'orientation qui permet à éviter les gains solaires intenses et qui est facile à protéger.

Une disposition du bloc d'enseignement de telle façon à orienter les façades longues vers le Sud et le Nord est favorable.

Donc, la forme du bâtiment doit être conçu de manière à être capable, par ses différentes variables, de jouer le rôle d'un filtre régulateur entre le climat extérieur critique et le climat intérieur nécessitant un confort satisfaisant.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

## Références bibliographiques :

- **ABDELATIA. B, MARENNE. C, SEMIDOR. C**, (2010), Daylighting Strategy for Sustainable Schools : Case Study of Prototype Classrooms in Libya, Journal of Sustainable Development, Vol. 3, N° 3.
- **ADEME**, (2003), Mise en place de protections solaires fixes ou mobiles sur les façades exposées.
- **AHIER. P**, (2009), Dimension écologique des fenêtres et des baies vitrées dans les bâtiments d'habitation, Certificat International d'Ecologie Humaine « CIEH », Universités de Bordeaux sous l'égide de l'OMS.
- **ALANZI. A, SEO. D, KRARTI. M**, (2009), Impact of building shape on thermal performance of office buildings in Kuwait, Energy Conversion and Management N°50, pp 822-828.
- **ALEXANDER. C**, (1971), De la Synthèse de la Forme, Essai, Editions Dunod, Paris.
- **ALKHOULI. M**, (2006), Les écrans poreux comme dispositifs de protection solaire et d'interaction visuelle et lumineuse entre les ambiances intérieures et extérieures des bâtiments, Mémoire DEA, Ecole Polytechnique de Nantes.
- **APPAH-DANKYI. J, KORANTENG. C**, (2012), An assessment of thermal comfort in a warm and humid school building at Accra, Ghana, Pelagia Research Library, disponible sur [www.pelagiaresearchlibrary.com](http://www.pelagiaresearchlibrary.com).
- **ARENE**, (1998), Le confort d'été dans les établissements scolaires, Cahier de spécifications techniques.
- **ARNHEIM. R**, (1977), Dynamique de la Forme Architecturale, Architecture + Recherches / Pierre Mardaga éditeur.
- **ARROUF. A, BENSACI. A**, (2006), Modélisation de processus de conception, Etude expérimentale du système compositionnel, Instance conception, Courrier du savoir N° 7.
- **AULICIEMS. A, SZOKOLAY. S.V**, (2007), Thermal comfort, PLEA Notes in association with the university of Queensland dept. of architecture, second revised edition.
- **BAKER. N, STANDEVEN. M**, (1996), Thermal comfort for free-running building, Energy and Buildings 23 pp 175-182.
- **BAKER. N, STEEMERS. K**, (2005), Energy and Environment in Architecture. A Technical Design Guide, Editions Taylor & Francis e-Library.

- **BATITHERM**, Bureau d'études thermographique par infrarouge et physique du bâtiment, le confort thermique, Suisse. Disponible sur [www.batitherm.ch](http://www.batitherm.ch), Consulté le 25/01/2012.
- **BAYEN. M**, (1973), Histoire des Universités, Collection : Que sais-je ? Editions PUF, Paris.
- **BELAKEHAL. A, Tabet AOUL. K**, (1996), Shading and shadowing : concepts for an interactive strategy between solar control and aesthetics in the design of the facade. Reference to arid zones, WREC.
- **BENRADOUANE. N, BENYOUCEF. B**, (2008), La fenêtre et son rôle dans la conception des maisons bioclimatiques, Revue des Energies Renouvelables CICME'08 Sousse, pp 41-46.
- **BENYOUCEF. B**, (2010), Introduction à l'Histoire de l'Architecture Islamique, troisième éditions, Office des publications universitaires, Alger.
- **BEYNON. J**, (1998), Installations et bâtiments éducatifs : ce que les planificateurs doivent - savoir, UNESCO.
- **BIRT. B, NEWSHAM, G.R**, (2009), Post-occupancy evaluation of energy and indoor environment quality in green buildings: a review, 3<sup>rd</sup> International Conference on Smart and Sustainable Built Environments, Delft, the Netherlands.
- **BORIE. A, MICHELONI. P, PINON. P**, (2006), Forme et Déformation des Objets Architecturaux et Urbains, Editions Parenthèses, Marseille.
- **BOUCHAHM G, BOUREBIA. F**, (2010), L'impact de l'orientation des parois transparentes sur le confort thermique dans une salle de classe à Constantine, Sciences et Technologie D-N°31, pp.71-80.
- **BOUSSORA. K**, (2009), Styles des façades des monuments islamiques au Maghreb, Thèse de Doctorat, Université de Biskra.
- **BUGNARD. P-P**, (2004), Quelles formes de salles de classe pour quelles pédagogies, L'architecture scolaire, Bulletin CIIP N° 15.
- **BUHAGIAR. V et Al**, (2008), Lighting and Thermal Performance of Innovative Shading Devices : New Insights into their Aesthetics and Control in a Mediterranean Climate , PLEA 2008, 25<sup>th</sup> Conference on Passive and Low Energy Architecture, Dublin, 22<sup>nd</sup> to 24<sup>th</sup> October 2008.
- **ÇAGRI ÇAKIR**, (2006), Assessing thermal comfort conditions ; a case study on the Metu faculty of architecture building, Thèse de Doctorat, Université technique de Moyen-Orient.

- **CALVO-SOTELO. P**, (2010), L'Urbanisme et l'Architecture dans les Universités de la Communauté des Canaries, Editions Gobierno de Canarias Consejería de Educación, Universidades, Cultura y Deportes, Traduit en français par Nabila Kadri.
- **CANTIN. R, MOUJALLED. B, GUARRACINO. G**, (2005), Complexité du confort thermique dans les bâtiments, 6ème congrès européen de sciences des systèmes, Paris.
- **CARTHEY. J**, (2006), Post occupancy evaluation: Development of a standardised methodology for Australian health projects, The International Journal of Construction and management, pp 57-74.
- **CHAHWANE. L**, (2011), Valorisation de l'inertie thermique pour la performance énergétique des bâtiments, Thèse de Doctorat, Université de Grenoble.
- **CHAIB. H**, (2006), L'université et la ville, rapport entre architecture et composition urbaine cas d'étude : L'université de Sétif, Mémoire du Magistère, Université de Sétif.
- **CHARBONNEAU. J**, (2004), Confort thermique à l'intérieur d'un établissement, Bibliothèque nationale du Québec.
- **CHELGHOU. Z, BELHAMRI. A**, (2001), Habitat à bas profil énergétique, Revue des Energies Renouvelables.
- **CHING. F-D-K**, (1979), Architecture, Form, Space and Order, Reinhold, New York.
- **CORGNATI. S, FABRIZIO. E, FILIPPI. M**, (2007), The impact of indoor thermal conditions, system controls and building types on the building energy demand, Energy and Buildings.
- **CORGNATI. S-P, FILIPPI. M, VIAZZO. S**, (2007), Perception of the thermal environment in high school and university classrooms : Subjective preferences and thermal comfort, Building and Environment N°42.
- **CORRINE. M, MEYER. J-P**, (1999), Travail à la chaleur et confort thermique, Notes scientifiques et techniques, NS 184.
- **DEPECKER.P**, (1985), Constitution et modes de transfert d'un savoir scientifique dans le champ de l'architecture : le cas de la thermique, Thèse de doctorat, INSA, Lyon.
- **DOLAPO. A**, (2007), Typological analysis of students' residences, Archnet-IJAR, International Journal of Architectural Research.
- **DURKHEIM. E**, (1922), Education et Sociologie, Disponible sur <http://pages.infinet.net/sociojmt>.
- **EALIWA. M.A et Al**, (2001), An investigation into thermal comfort in the summer season of Ghadames, Libya, Building and Environment 36, pp 231-237.

- **FARHI. A**, (2009), Cours de la post-graduation, Département d'Architecture, Université de Biskra.
- **FEZZIOUI. N**, (2008), Influence des caractéristiques dynamiques de l'enveloppe d'un bâtiment sur le confort thermique au sud Algérien, *Revue des Energies Renouvelables* Vol. 11 N°1 pp 25 – 34.
- **FIRTH. S, COOK. M**, (2010), Actes de la Conférence : Adapting to Change : New Thinking on Comfort Cumberland Lodge, Windsor, UK, 9-11 April 2010. London : Network for Comfort and Energy Use in Buildings.
- **FISKE. E-B**, (2000), Cadre d'action de Dakar adopté par le Forum mondial sur l'éducation, Dakar, Sénégal.
- **FOCILLON. H**, (1943), *Vie des formes*, Presses Universitaires de France, Paris.
- **FOURA. M**, Cours 22 L'école de Chicago 1886-1904, disponible sur le site (<http://www.umc.edu.dz/vf/index.php/cours-hca>) consulté le 02/11/2012.
- **FUCHS. F-M, RAYMOND. B**, (2010), Échanges thermiques d'une paroi, *Techniques de construction*.
- **GALLO. C, SALLA. M, SAYIGH. A.M.M**, (1998), *Architecture Comfort and Energy*, *Journal Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- **GIVONI. B**, (1978), *L'homme, L'Architecture et le Climat*, Editions Le Moniteur, Paris.
- **GOSSAUER. E, WAGNER. A**, (2007), Post-occupancy evaluation and thermal comfort: State of the art and new approaches, *Advances in building energy research*, Vol. 01, pp 151-175.
- **GUN JOO JUNG et Al**, (2011), Experimental research on thermal comfort in the university classroom of regular semesters in Korea, *Journal of Mechanical Science and Technology* 25 (2) 503-512.
- **GÜNEY. Y-I**, (2007), Type and typology in architectural discourse, *BAÜ FBE Dergisi*.
- **GUODONG. Y et Al**, (2003), A new approach for measuring predicted mean vote (PMV) and standard effective temperature (SET), *Building and Environment*.
- **GUTTMAN. C**, (2003), *L'éducation dans et pour la société de l'information*, Publications de l'UNESCO pour le Sommet mondial sur la société de l'information.
- **GUOQIANG. Z et Al**, (2007), Thermal Comfort Investigation of Naturally Ventilated Classrooms in a Subtropical Region, disponible sur <http://ibe.sagepub.com>.
- **HALDI. F**, (2010), Towards a Unified Model of Occupants' Behaviour and Comfort for Building Energy Simulation, Thèse de Doctorat, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne.

- **HAMMOU. A**, (2010), A Propos de la Conception Architecturale, Office des publications universitaires, Alger.
- **HAUGLUSTAINE. J et Al**, (2006), La conception globale de l'enveloppe et l'énergie. Guide pratique pour les architectes, Ministère de la Région Wallonne.
- **HINES. E-W**, (1996), Building condition and student achievement and behavior, Thèse de doctorat, Virginia Polytechnic Institute and State University.
- **HOLLMULLER. P et Al**, (2003), Habitat, confort et énergie, Actes de la 13ème Journée du Cuepe Colloque du cycle de formation du Cuepe 2002-2003, Université de Genève.
- **HUGHES. S-M**, (2005), The Relationship between School Design Variables and Student Achievement in a Large Urban Texas School District, Thèse de doctorat, Baylor university.
- **HUSSEIN. I, A, RAHMAN. M.H**, (2009), Field Study on Thermal Comfort in Malaysia, European Journal of Scientific Research, ISSN 1450-216X Vol. 37 N°1, pp.127-145.
- **IBGE : Institut Bruxellois de la Gestion de l'Environnement**, (2010), Optimiser la conception des fenêtres, Guide pratique pour la construction et la rénovation durables de petits bâtiments : Recommandation pratique ENE06.
- **IBGE : Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement**, (2007), Redéfinir la notion de confort thermique, guide pratique pour la construction et la rénovation durables de petits bâtiments, recommandation pratique CSS13.
- **IBRAHIM M-H**, (1997), A Typology of Building Forms, J. King Saud Univ, Vol. 09, Arch. &Planning, pp. 1-30.
- **ISO 7730**, (2005), Ergonomie des ambiances thermiques - Détermination analytique et interprétation du confort thermique par le calcul des indices PMV et PPD et par des critères de confort thermique local, Troisième Edition.
- **IZARD. J-L**, (1993), Architectures d'Eté. Construire Pour le Confort d'Eté, Editions EDISUD, Aix-en-Provence.
- **IZARD. J-L, BUSSON. S**, (2006), La protection solaire architecturale, Laboratoire ABC, ENSA-Marseille.
- **IZARD. J-L**, (2006), Le coefficient de forme du bâtiment, Laboratoire ABC, ENSA-Marseille.
- **KEMAJOU. A, MBA. L**, (2011), Matériaux de construction et confort thermique en zone chaude. Application au cas des régions climatiques camerounaises, Revue des Energies Renouvelables Vol. 14 N°2, pp 239-248.

- **KHALIL. N, HUSIN. H-N**, (2009), Post occupancy evaluation towards indoor environment improvement in Malaysia's office buildings, *Journal of sustainable development*, Vol. 02 N° 01.
- **KOHLI. V**, (2008), Environmentally Responsive Architecture ; Passive Design for School in Southern India, PLEA 2008 – 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Dublin, 22nd to 24th October 2008.
- **LAVERGNE. M**, (2009), Opportunités solaires passives : Optimisation du confort et de la consommation énergétique d'un espace séjour avec serre accolée, Thèse de Doctorat, Université Laval Québec.
- **LAVIGNE. P, CHATELET. A, FERNANDEZ. P**, (1998), *Architecture Climatique : Une contribution au Développement Durable*, Tome 2 : Concepts et dispositifs, Editions EDISUD, France.
- **LEE. E et Al**, (2002), Building Technologies Program, Environmental Energy Technologies Division, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, Berkeley, CA 94720.
- **LIEBARD. A, DE HERDE. A**, (2005), *Traité d'Architecture et d'Urbanisme Bioclimatiques : concevoir, édifier et aménager avec le développement durable*, Éditions du Moniteur, Paris.
- **LIPPMAN. P-C**, (2010), Can the physical environment have an impact on the learning environment, ISSN 2072-7925, CELE Exchange 2010/13, © OECD.
- **LUCAN. J**, (2009), *Composition, non-composition. Architecture et Théories, XIX<sup>e</sup> - XX<sup>e</sup> siècles*, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne.
- **M'SELLEM. H, ALKAMA. D**, (2009), Le confort thermique entre perception et évaluation par les techniques d'analyse bioclimatique. Cas des lieux de travail dans les milieux arides à climat chaud et sec, *Revue des Energies Renouvelables* Vol. 12 N°3.
- **MANSOURI. S, SAHNOUNE. T**, (2008), Les proportions dans l'architecture musulmane, *Sciences et Technologie D – N° 27*.
- **MASTELAN. P**, (2005), *L'Ordre et la Règle. Vers une Théorie du Projet d'Architecture*, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne.
- **MAZOUZ. S**, (2008), *Eléments de Conception Architecturale*, Office des publications universitaires, Alger.
- **MAZOUZ. S**, (2009), Cours de la post-graduation, Département d'Architecture, Université de Biskra.

- **MAZOUZ. S**, (2011), Le processus de conception architecturale, Cours de la théorie du projet architectural et urbain, Département d'Architecture, Université de Biskra.
- **MAZRIA. E**, (1980), Le Guide De L'énergie Solaire Passive, Edition Parenthèses, Paris.
- **MBOUP. M**, (2003), Evaluation des acquis scolaires : Le paramétrage et l'habillage des épreuves peuvent-ils influencer les méthodes et stratégies d'enseignement/apprentissage des sciences de la Vie et de la Terre, Mémoire DEA en Sciences d'Education, Université Cheikh Anta Diop, Dakar.
- **MEDJELEKH. D**, (2009), L'inertie thermique du matériau et le confort hygrothermique du bâtiment, SBEIDCO - 1<sup>st</sup> International Conference on Sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries.
- **MEDJELEKH. D**, (2010), Impact de l'isolation thermique sur la température intérieure du bâtiment, Séminaire International sur le Génie Climatique et l'Energétique, SIGCLE'2010.
- **MELRIN. P, CHOAY. F**, (1988), Dictionnaire de l'Urbanisme et de l'Aménagement, Editions PUF, Paris.
- **MIES. P**, (1998), De la Forme au Lieu. Une Introduction à l'Etude de l'Architecture, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne.
- **MOKHTARI. A, BRAHIMI. M, BENZIADA. R**, (2008), Architecture et confort thermique dans les zones arides. Application au cas de la ville de Béchar, Revue des Energies Renouvelables Vol. 11 N°2.
- **MONTENEGRO ITURRA. E-E**, (2011), Impact de la configuration des bâtiments scolaires sur leur performance lumineuse, thermique et énergétique, Thèse de doctorat, Université Laval, Québec.
- **MOUJALLED. B**, (2007), Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés, Thèse de Doctorat, Institut des sciences appliquées de Lyon.
- **NARÇON. S**, (2001), Caractérisation des perceptions thermiques en régime transitoire contribution a l'étude de l'influence des interactions sensorielles sur le confort, Thèse de Doctorat, Ecole pratique des hautes études.
- **NIK IBRAHIM. N-L, KOSMAN. K-A**, (2007), Daylighting rule of thumb and typology, Department of Architecture, Faculty of Engineering and Built Environment, Universiti Kebangsaan Malaysia, Malaysia.
- **O'SULLIVAN. S**, (2006), A Study of the Relationship between Building Conditions and Student Academic Achievement in Pennsylvania's High School, Thèse de doctorat, Virginia Polytechnic Institute and State University.

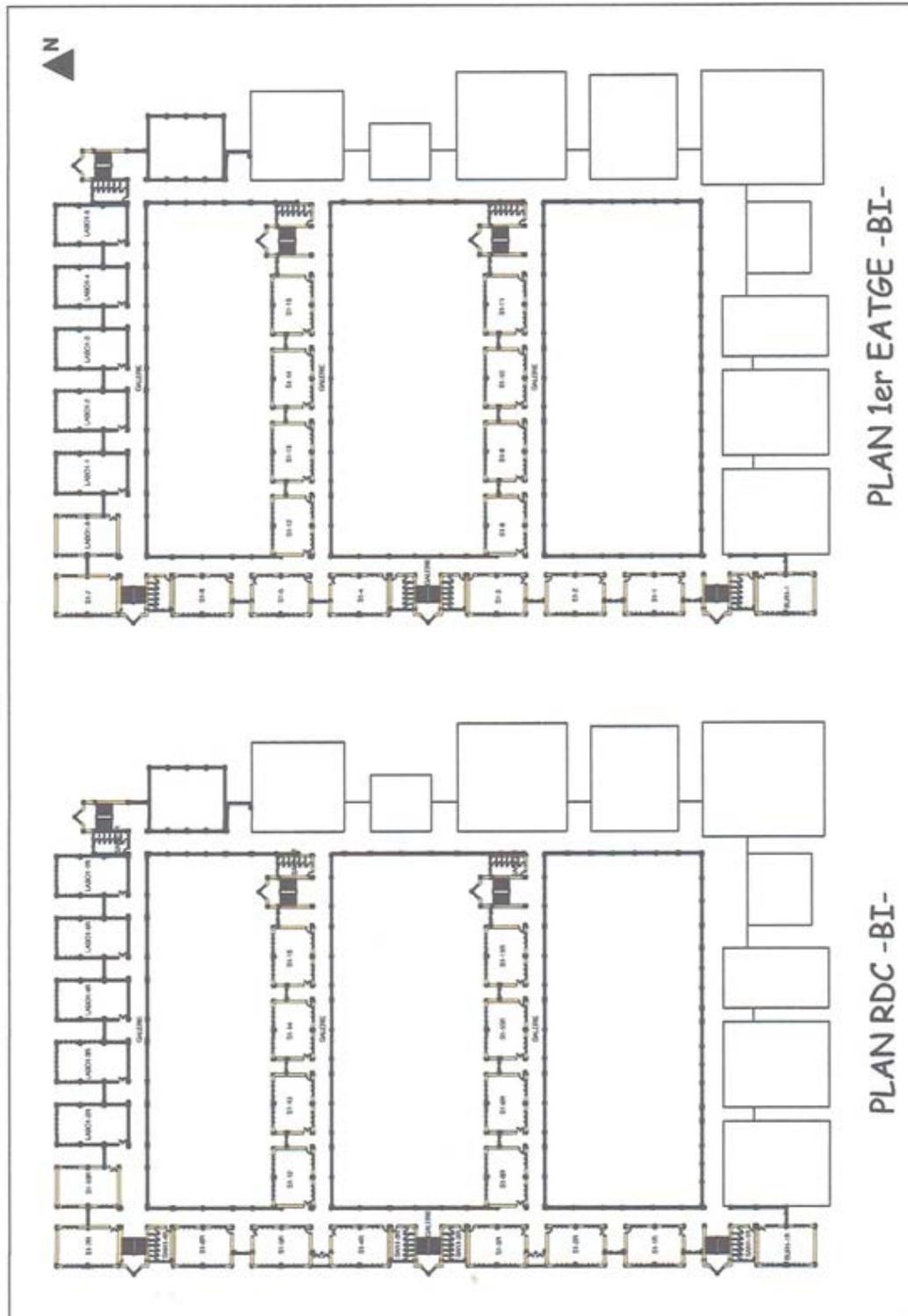
- **OCDE**, (2008), Enseignement supérieur pour la société de la connaissance - Examen thématique de l'OCDE sur l'enseignement supérieur : Rapport de synthèse.
- **POTVIN. A, CELIS MERCIER S.J**, (2010), Sobriété et efficacité énergétiques en architecture, Les cahiers de l'Institut EDS Série stratégies du développement durable, N° 02.
- **PRESCOTT. K**, (2001), Thermal comfort in school buildings in the tropics, Environment design.
- **RAJI. S**, (2006), Caractérisation hygro thermique, par une approche multi échelle, de constructions en bois massif en vue d'amélioration énergétique et de valorisation environnementale, Thèse de Doctorat, Université Bordeaux I.
- **RAPOPORT. A**, (1972), Pour une Anthropologie de la Maison, Editions Dunod, Paris.
- **RIGOLON. A**, (2010), Les plans de construction des écoles européennes du XXIe siècle : présentation, CELE échanges 2010/3 – ISSN 2072-7933 – © OCDE.
- **ROBINSON. L, ROBINSON. T**, (2009), Architecture scolaire : des exemples à suivre en Australie, ISSN 2072-7933, OCDE.
- **ROULET. C**, Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments, Edition presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 2004.
- **SAINT-GOBAIN**, (2012), Introduction à la thermique du bâtiment, collection des essentiels de l'habitat.
- **SANOFF. H, PASALAR. C, HASHAS. M**, School Building Assessment Methods, School of Architecture, College of Design, North Carolina State University with support from the National Clearinghouse for Educational Facilities.
- **SHADKHOU. S**, (2007), Morphogenèse architecturale. Proposition d'un opérateur morphosémantique « Bomber », Mémoire de Master Design Global, Université Henri Poincaré.
- **SIMON. F et Al**, (2001), La fenêtre et la gestion de l'énergie : Guide pratique pour les architectes, Éditions Université Catholique de Louvain.
- **TEBBOUCHE. H**, (2010), L'impact de la qualité environnementale des établissements scolaires sur la performance du système éducatif en Algérie cas des lycées de la ville de Jijel, Mémoire du Magistère, Université de Jijel.
- **THELLIER. F, MONCHOUX. F, ENDRAVADAN.M**, (2004), Prise en compte du comportement adaptatif de l'être humain dans la simulation thermique de l'habitat.
- **TIBERIU. C et Al**, (2008), Effet de l'inertie thermique, de la surface vitrée et du coefficient de forme sur les besoins en chauffage d'une habitation, Congrès IBPSA, Lyon, France.

- **TIXIER. N**, (2001), Morphodynamique des ambiances construites, Thèse de Doctorat, École d'Architecture de Grenoble.
- **TURAL. M**, (2010), On post occupancy evaluation of the luminous environment : an approach to integrate high-dynamic-range image analysis and simulation into the evaluation process, American Solar Energy Society, Première publication dans SOLAR 2010 Conference Proceedings.
- **UDIN. A-B, RAJUDDIN. M-R**, (2008), physical environment in school setting: conceptual reviews.
- **UNESCO**, (1998), L'enseignement supérieur au XXIe siècle : Vision et actions, Conférence mondiale sur l'enseignement supérieur.
- **VELAY-DABAT. M-A, IZARD. J-L, BONIFAIT. P**, (2004), Maitrise des ambiances. Contrôle de l'ensoleillement et de la lumière en architecture. Développement d'un outil commun au contrôle solaire et au contrôle lumineux : la projection sphérique équidistante zénithale, Ecole d'Architecture de Marseille-Luminy.
- **VITO. A**, (1992), L'architecture, métaphore culturelle d'une société.
- **WONG. N-H, KHOO. S-S**, (2003), Thermal comfort in classrooms in the tropics, Energy and Buildings N°35.
- **ZARTARIAN. V**, (2008), Genèse et sens des formes architecturales, disponible sur <http://co-creation.net/architecture/sommaire.htm>, consulté le 01/12/2011.

# ANNEXES

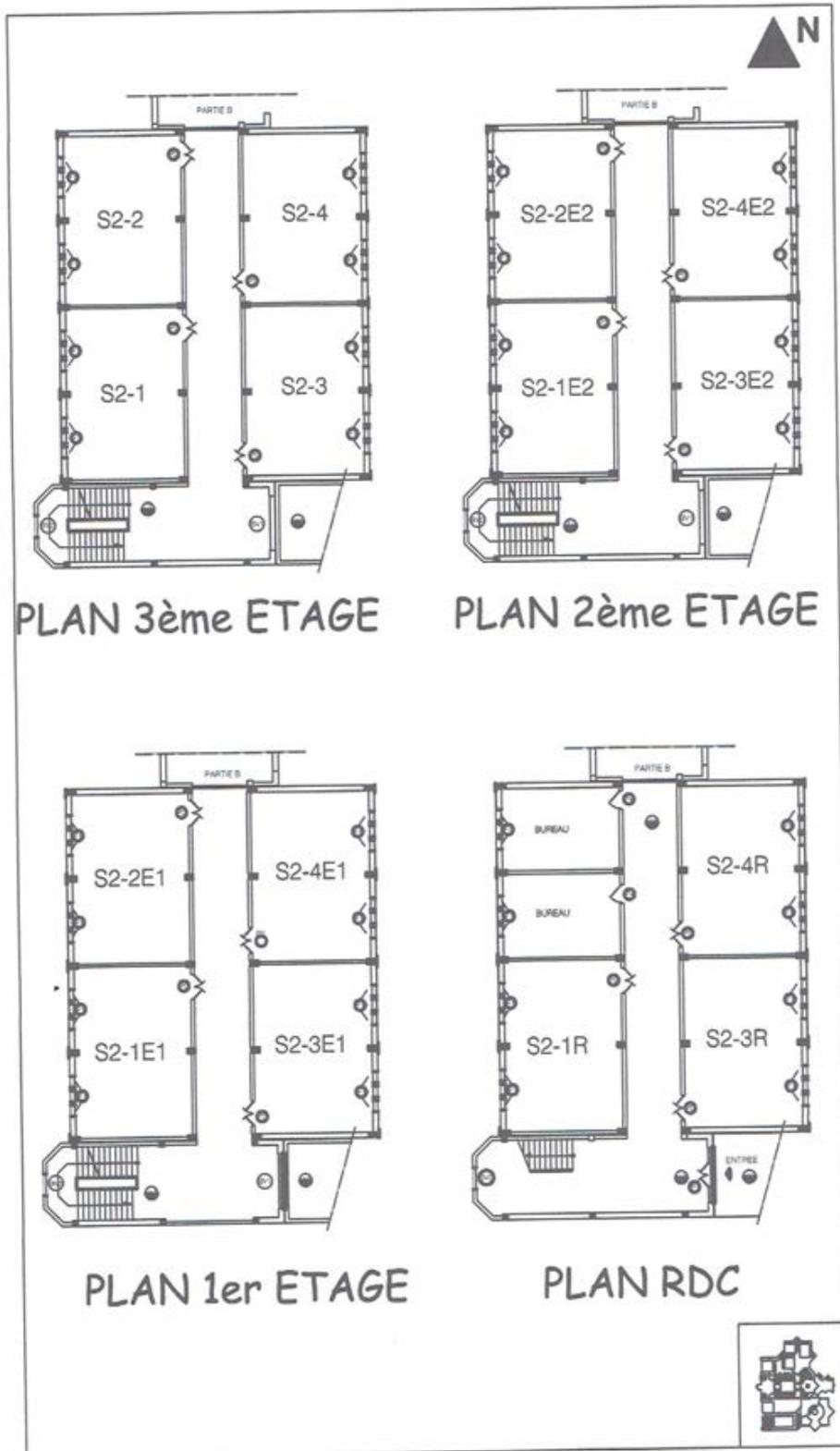
## Annexe A : Dossiers graphiques des blocs d'enseignement étudiés

## - Bloc I :

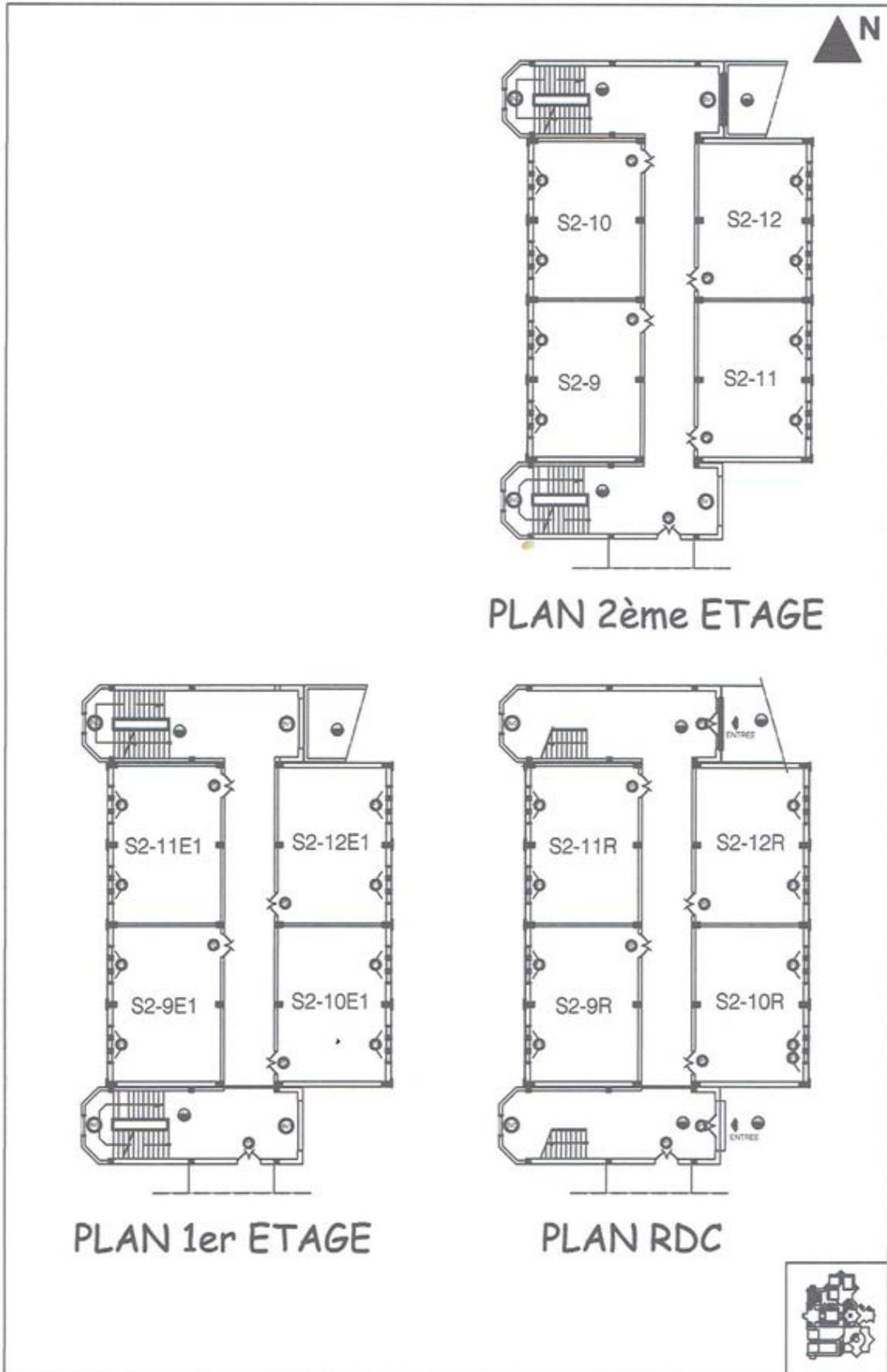


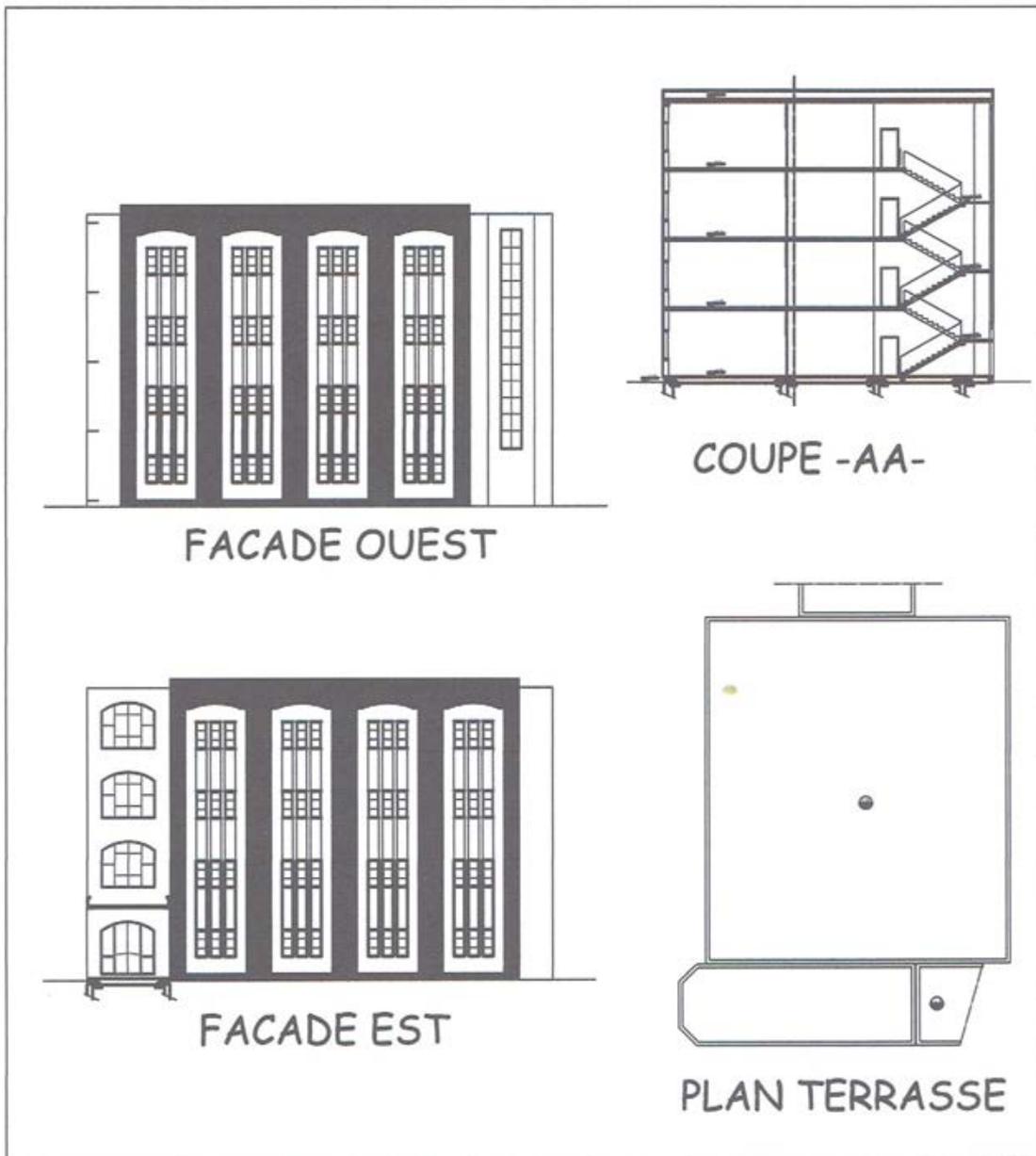


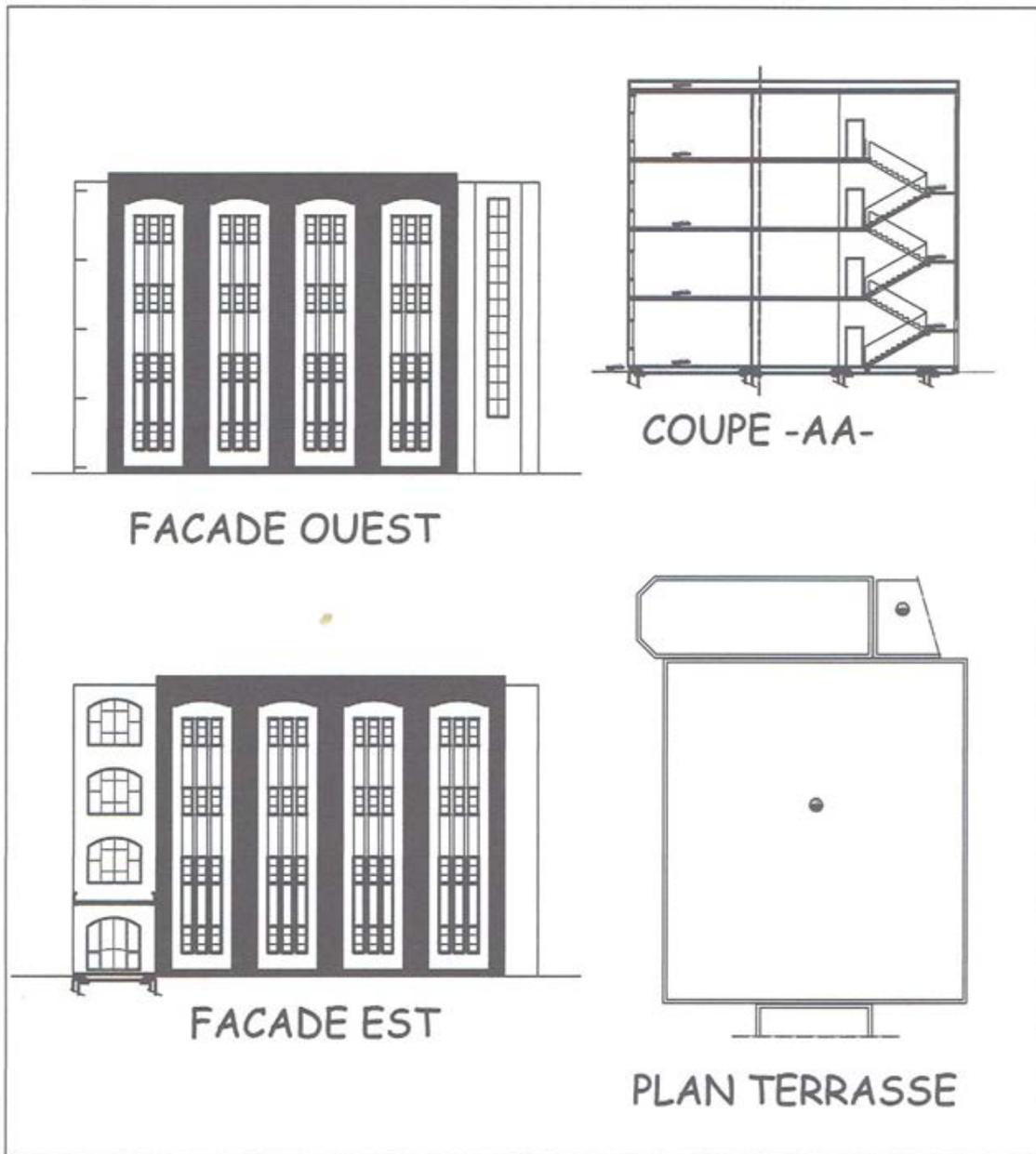
- Bloc II :

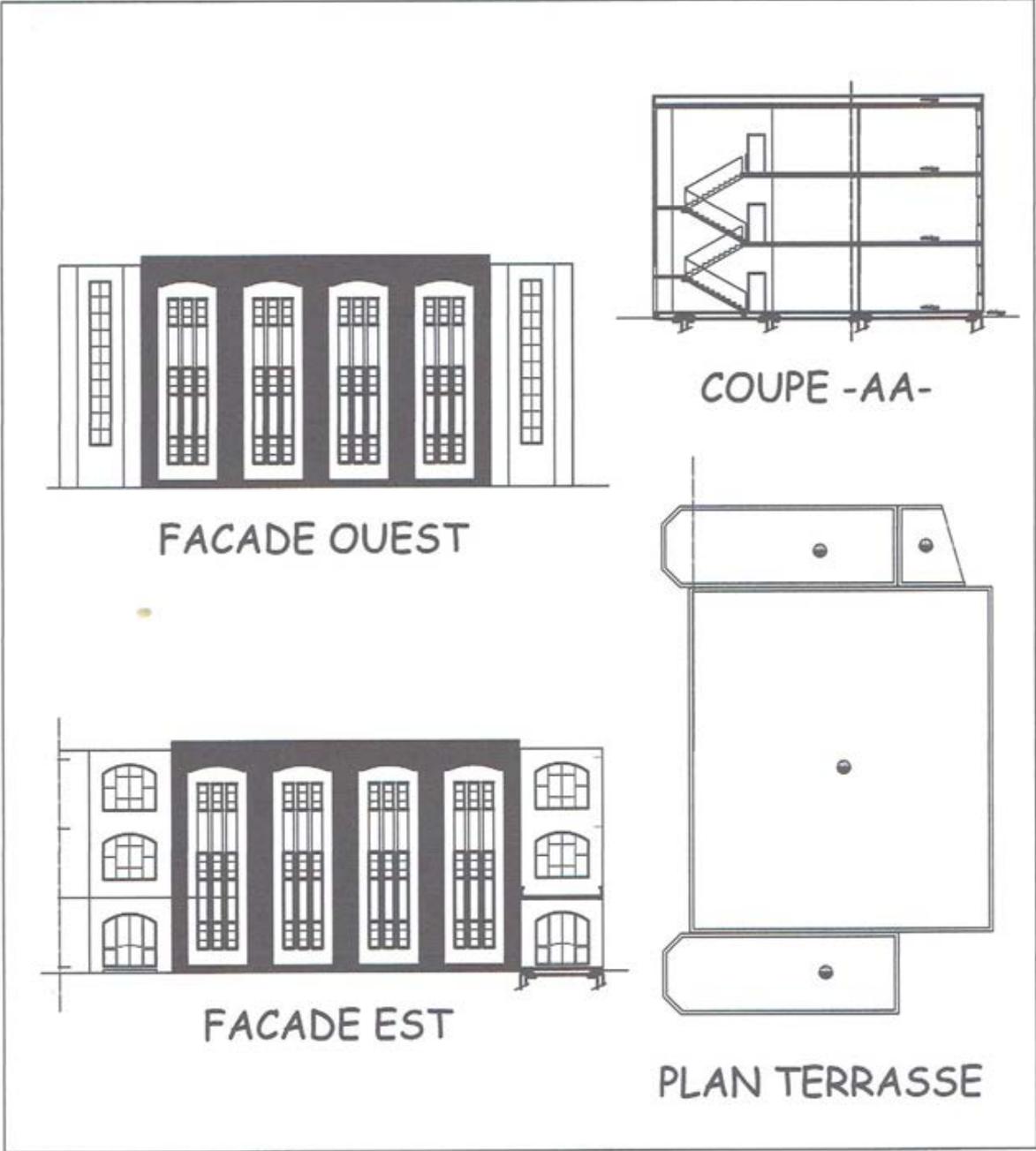




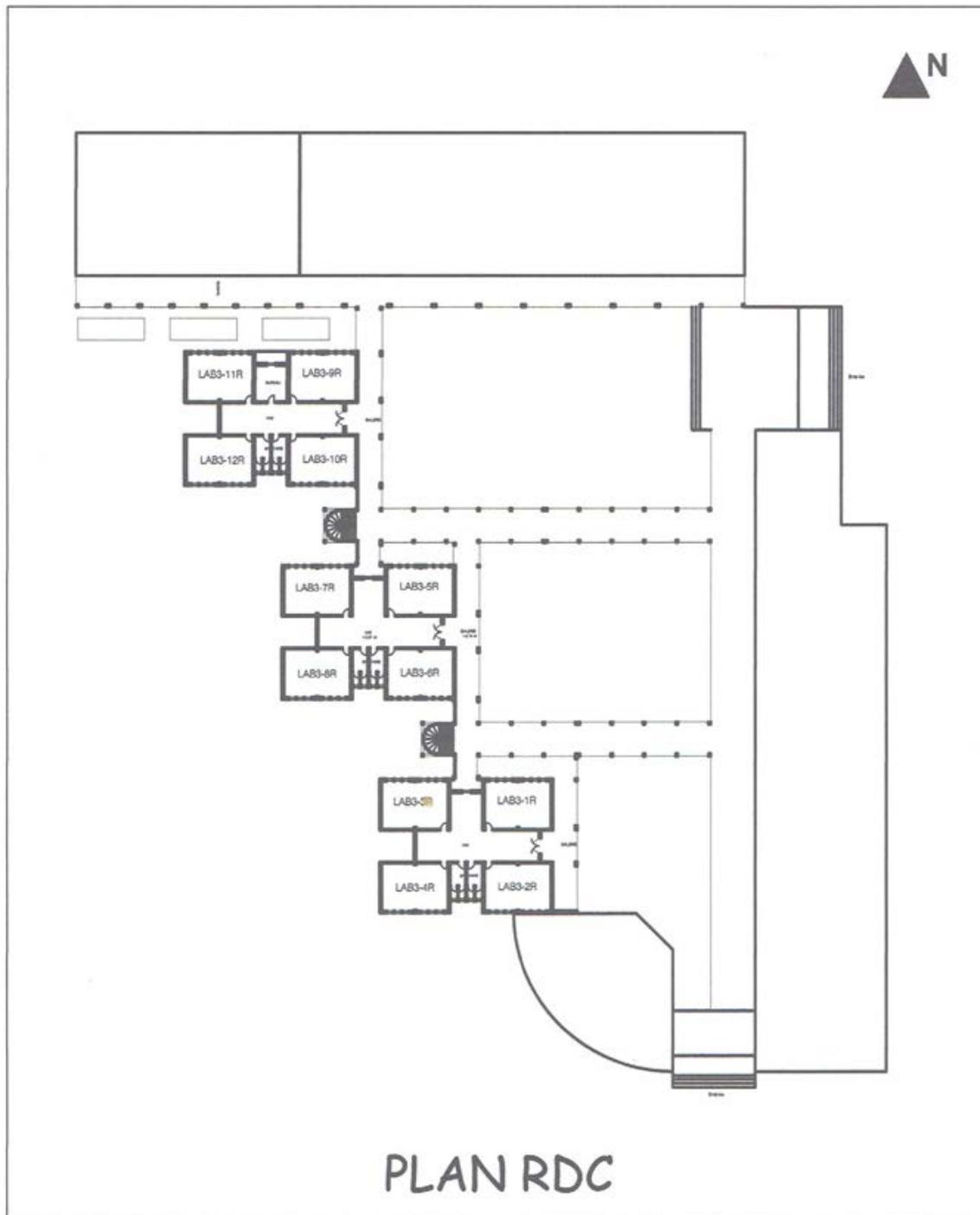


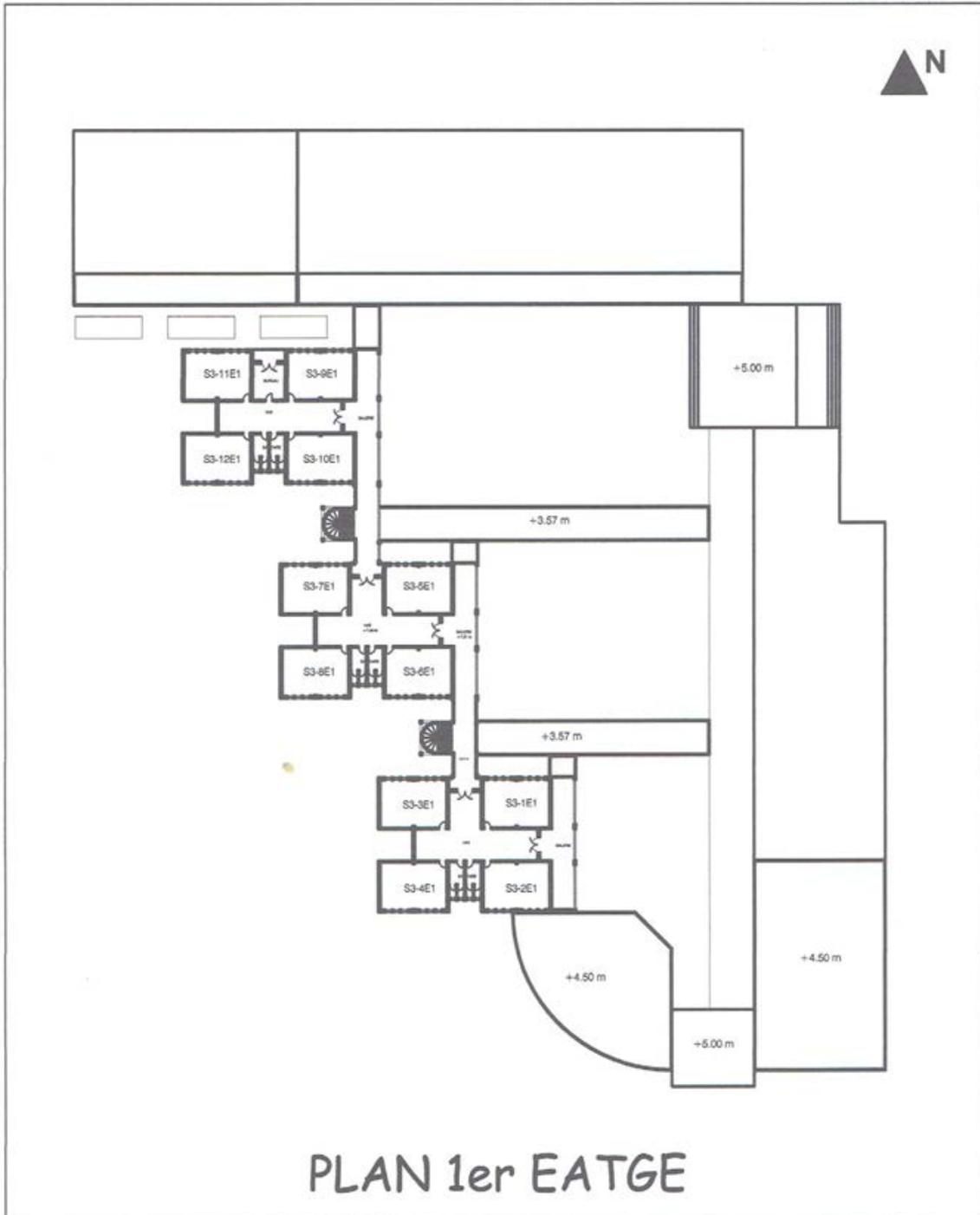






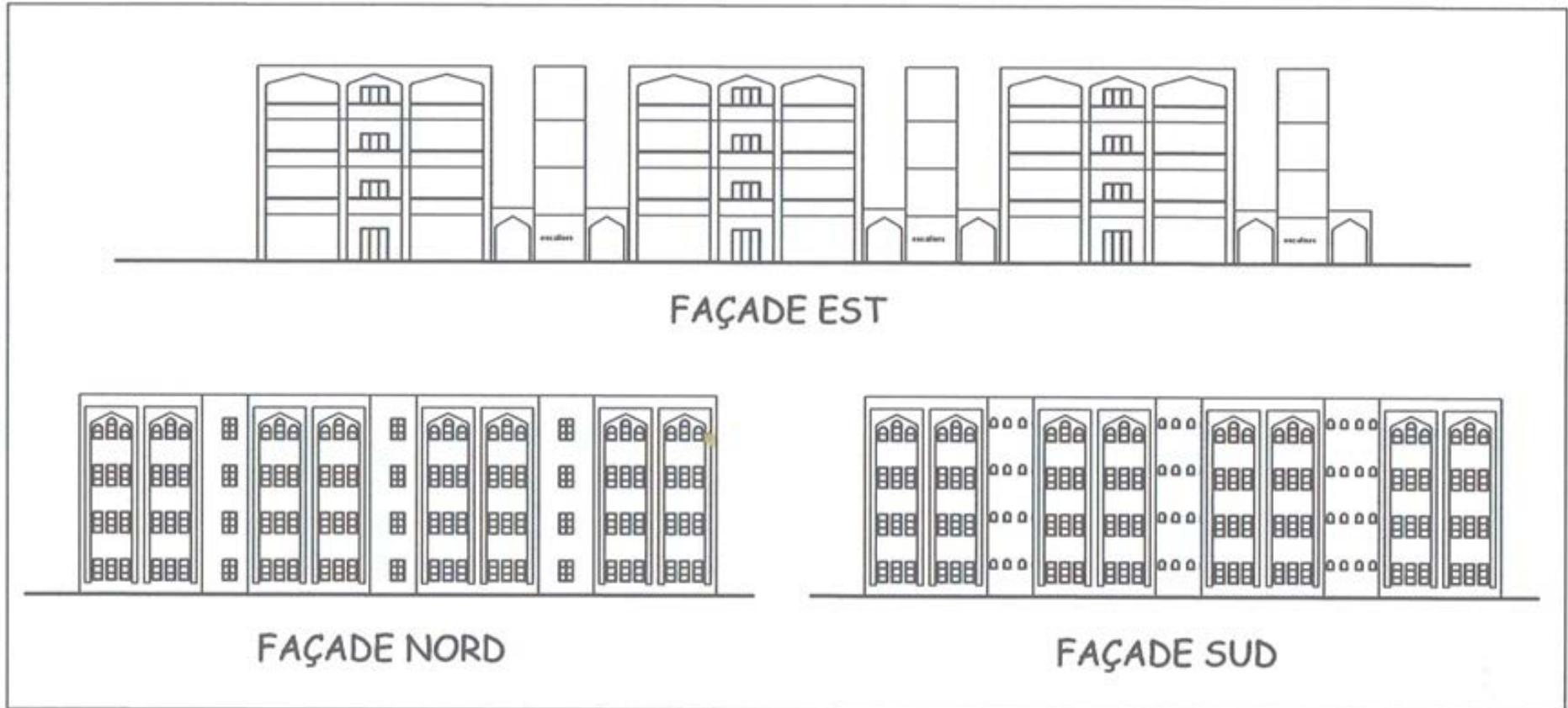
## - Bloc III :



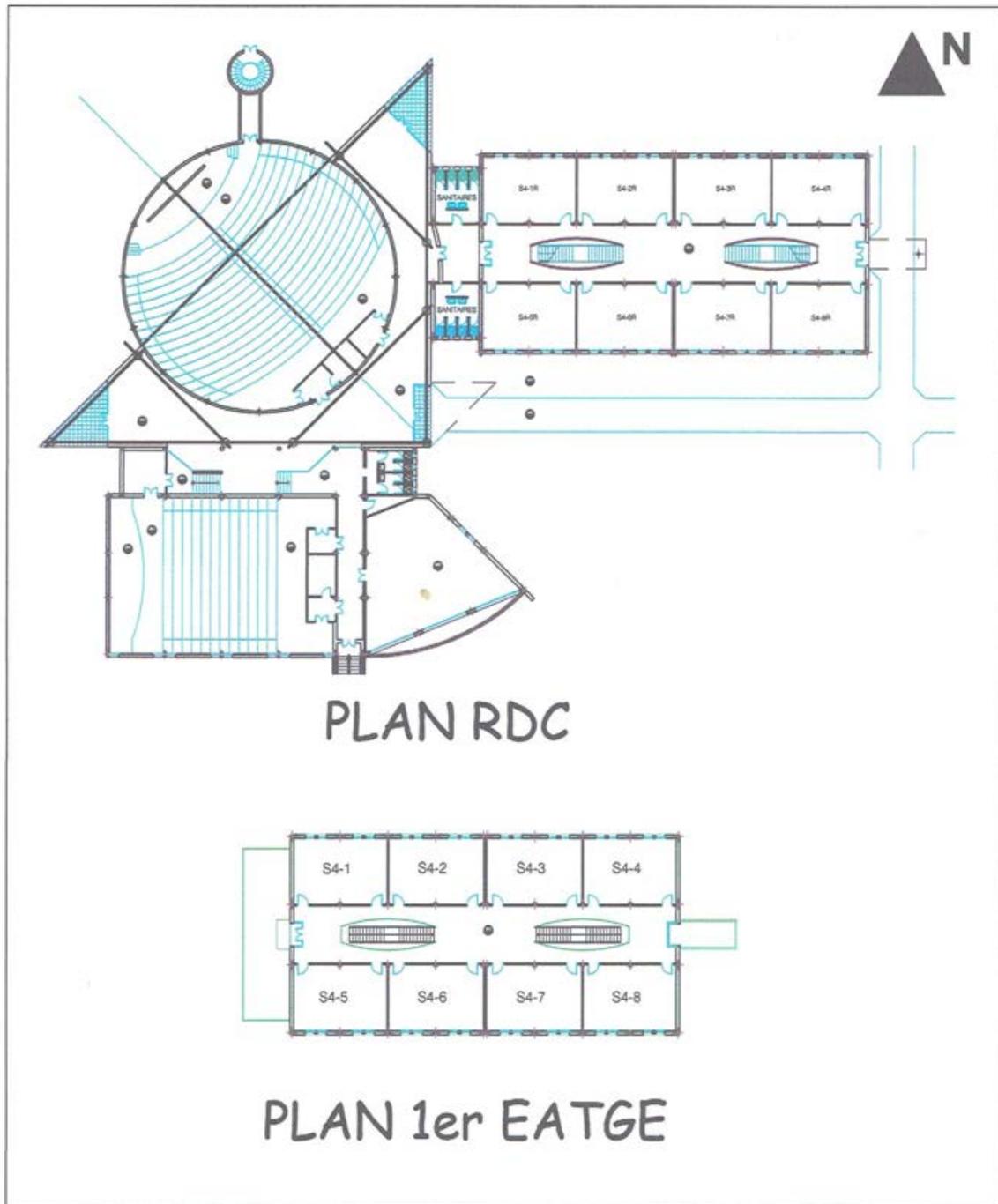


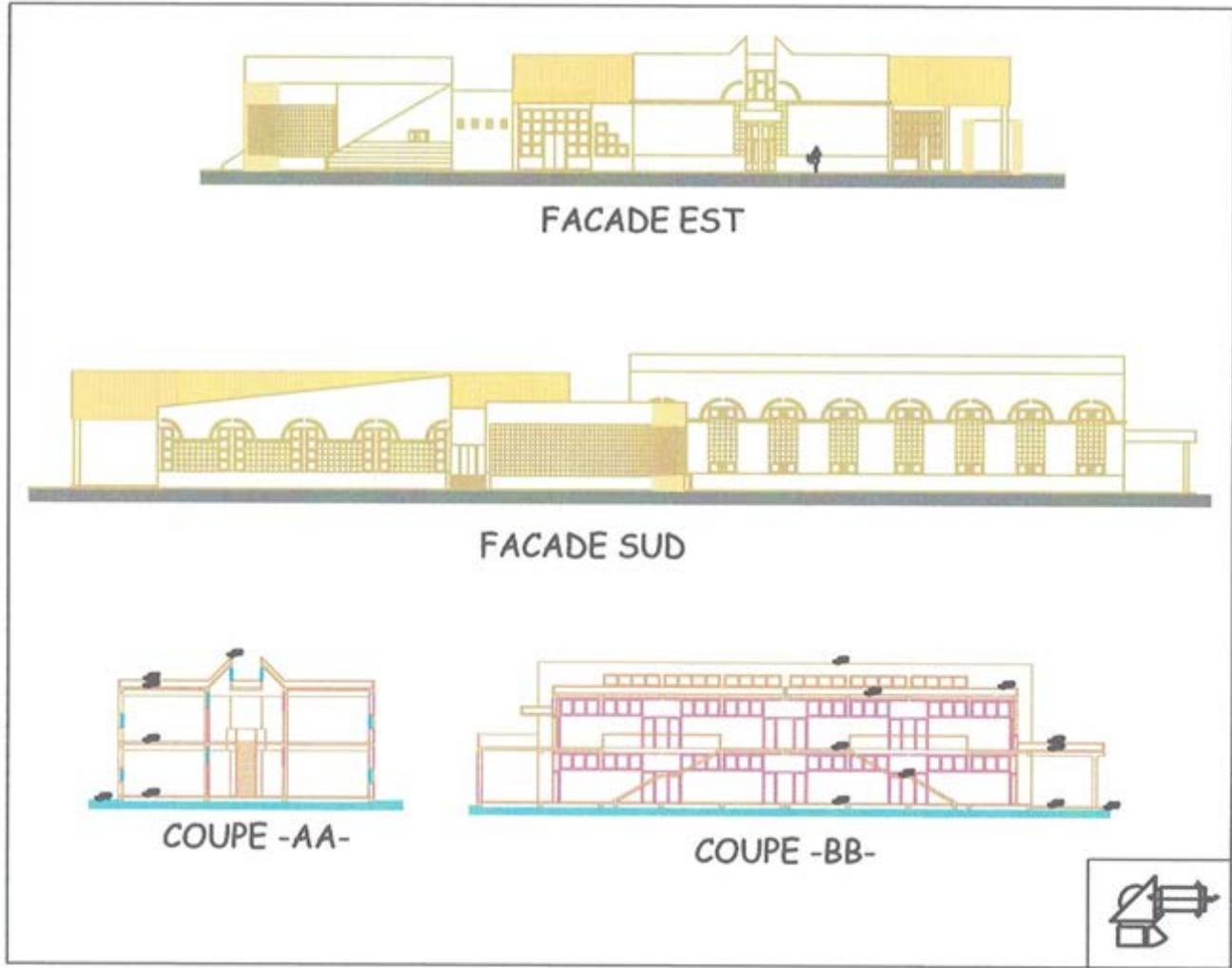
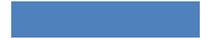




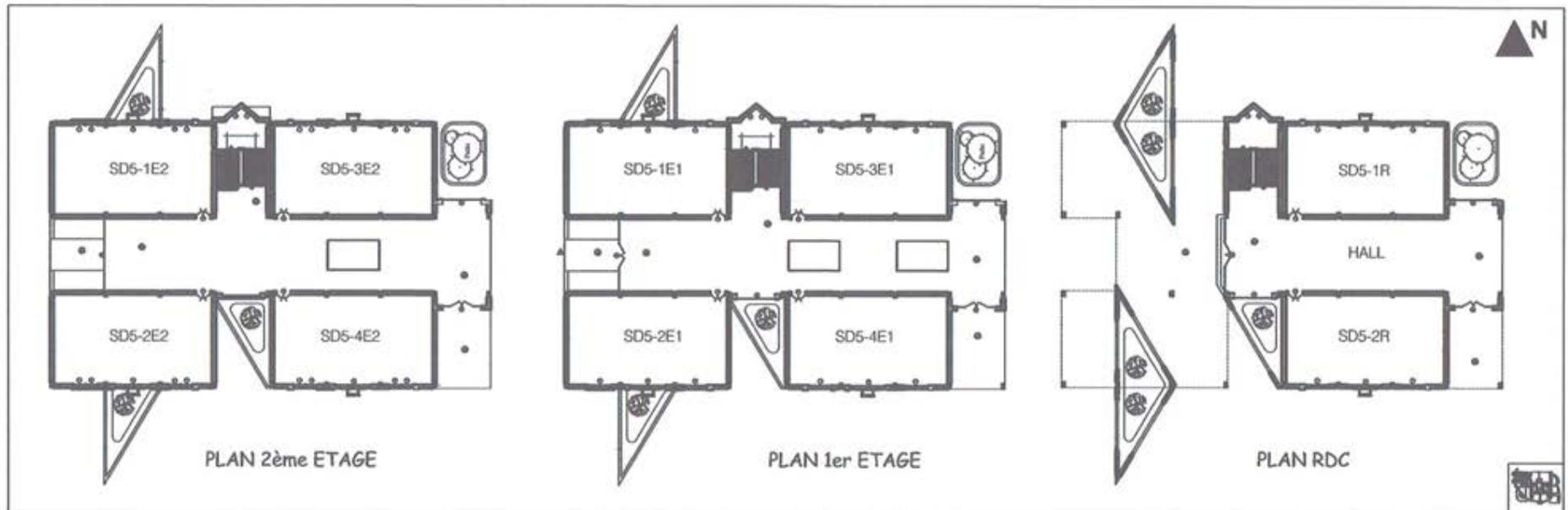


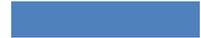
- Bloc IV :

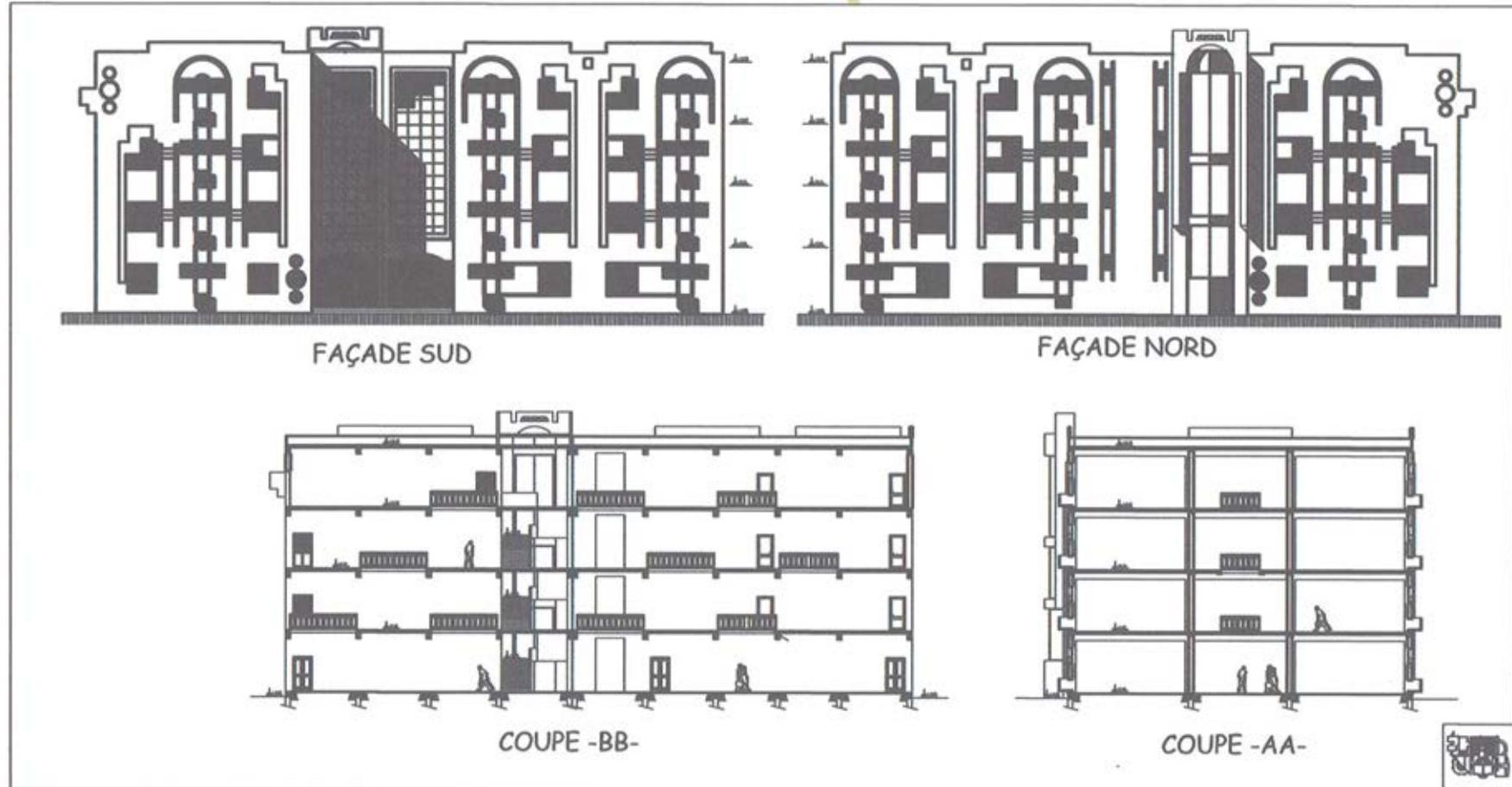


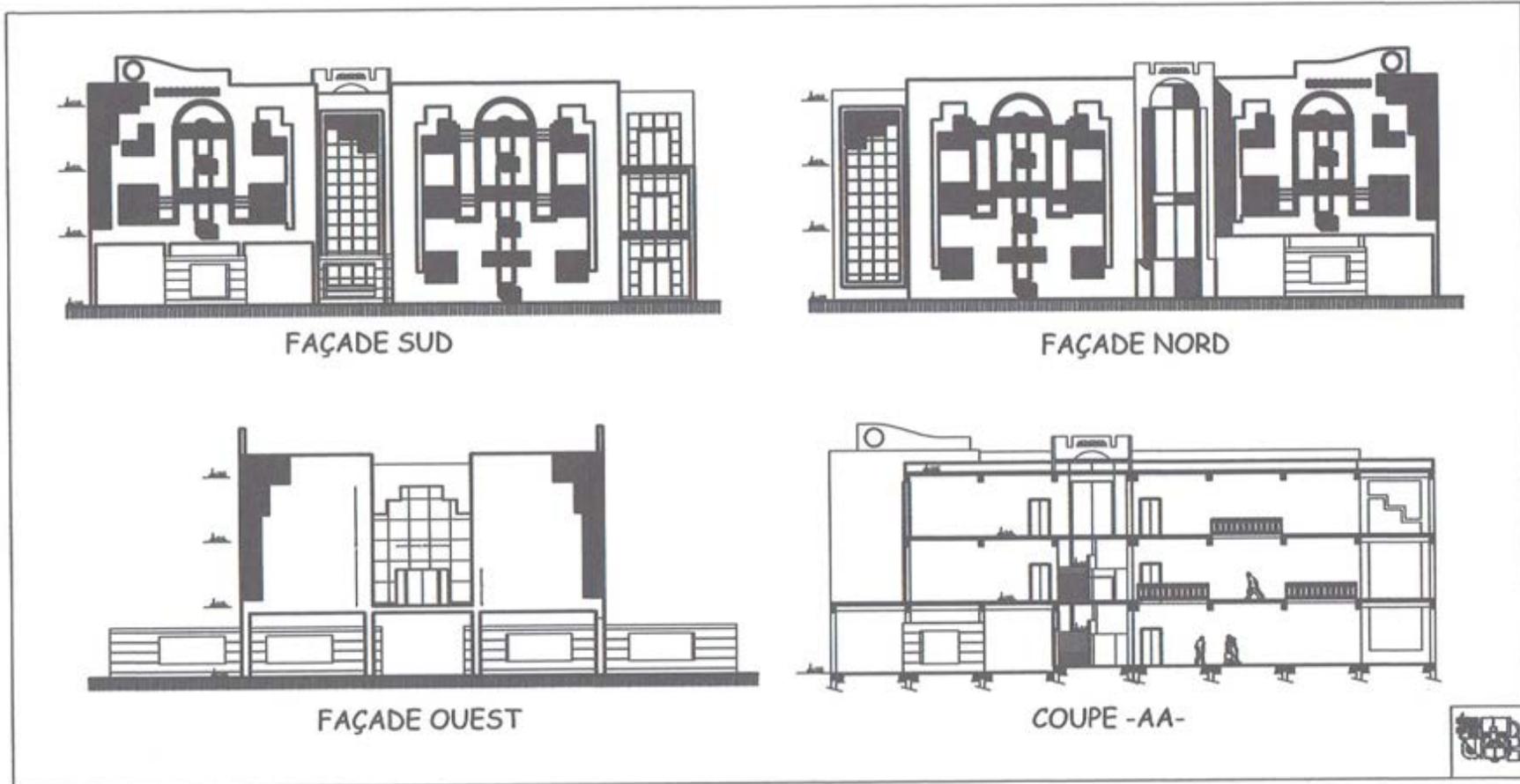
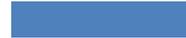


- Bloc V :

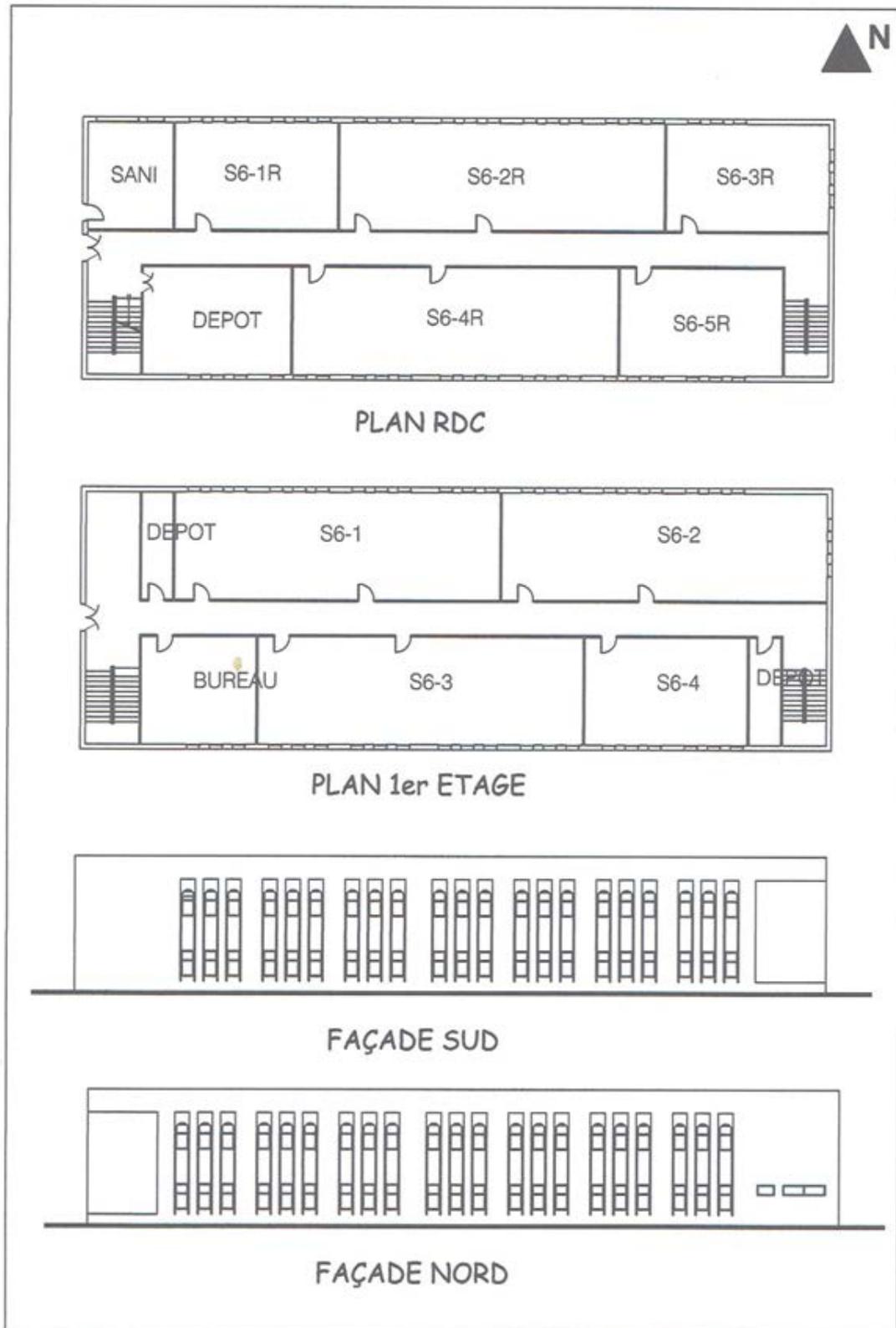








## - Bloc VI :



### Annexe B : Analyse typologique

- Tableau récapitulatif des critères de l'analyse typologiques des salles de classe des différents blocs :

<i>BLOC I : Bloc TD faculté des sciences et technologies</i>															
	<i>Forme</i>						<i>Ouvertures</i>							<i>Orientation</i>	
	<b>L (m)</b>	<b>P (m)</b>	<b>L/P</b>	<b>Pr</b>	<b>MI</b>	<b>Mpo</b>	<b>Sp (m<sup>2</sup>)</b>	<b>So (m<sup>2</sup>)</b>	<b>So/Sp</b>	<b>% O</b>	<b>Hmf (m)</b>	<b>Ho (m)</b>	<b>Ha (m)</b>	<b>Pos</b>	<b>Or</b>
<b>SI-1</b>	7.20	10.65	0.68	2/3	4	2	76.68	16.32	0.21	21.28	3.74	1.70	1.00	Moyenne	Ouest
<b>SI-2</b>	7.20	10.65	0.68	2/3	4	2	76.68	16.32	0.21	21.28	3.74	1.70	1.00	Moyenne	Ouest
<b>SI-3</b>	7.20	10.65	0.68	2/3	3	2	76.68	14.96	0.20	19.51	3.74	1.70	1.00	Moyenne	Ouest
<b>SI-4</b>	7.20	10.65	0.68	2/3	3	2	76.68	14.96	0.20	19.51	3.74	1.70	1.00	Moyenne	Ouest
<b>SI-5</b>	7.20	10.65	0.68	2/3	4	2	76.68	16.32	0.21	21.28	3.74	1.70	1.00	Moyenne	Ouest
<b>SI-6</b>	7.20	10.65	0.68	2/3	3	2	76.68	16.32	0.21	21.28	3.74	1.70	1.00	Moyenne	Ouest
<b>SI-7</b>	7.20	11.35	0.63	2/3	3	2	81.72	12.24	0.15	14.98	3.74	1.70	1.00	Moyenne	Ouest
<b>SI-8</b>	7.20	10.65	0.68	2/3	4	2	76.68	16.32	0.21	21.28	3.74	1.70	1.00	Moyenne	Nord
<b>SI-9</b>	7.20	10.65	0.68	2/3	4	2	76.68	16.32	0.21	21.28	3.74	1.70	1.00	Moyenne	Nord
<b>SI-10</b>	7.20	10.65	0.68	2/3	4	2	76.68	16.32	0.21	21.28	3.74	1.70	1.00	Moyenne	Nord
<b>SI-11</b>	7.20	10.65	0.68	2/3	4	2	76.68	16.32	0.21	21.28	3.74	1.70	1.00	Moyenne	Nord
<b>SI-12</b>	7.20	10.65	0.68	2/3	4	2	76.68	16.32	0.21	21.28	3.74	1.70	1.00	Moyenne	Nord
<b>SI-13</b>	7.20	10.65	0.68	2/3	4	2	76.68	16.32	0.21	21.28	3.74	1.70	1.00	Moyenne	Nord
<b>SI-14</b>	7.20	10.65	0.68	2/3	4	2	76.68	16.32	0.21	21.28	3.74	1.70	1.00	Moyenne	Nord
<b>SI-15</b>	7.20	10.65	0.68	2/3	4	2	76.68	16.32	0.21	21.28	3.74	1.70	1.00	Moyenne	Nord
<i>BLOC II : Bloc TD faculté des sciences économiques, commerciales et de gestion</i>															
	<i>Forme</i>						<i>Ouvertures</i>							<i>Orientation</i>	
	<b>L (m)</b>	<b>P (m)</b>	<b>L/P</b>	<b>Pr</b>	<b>MI</b>	<b>Mpo</b>	<b>Sp (m<sup>2</sup>)</b>	<b>So (m<sup>2</sup>)</b>	<b>So/Sp</b>	<b>% O</b>	<b>Hmf (m)</b>	<b>Ho (m)</b>	<b>Ha (m)</b>	<b>Pos</b>	<b>Or</b>
<b>SII-1</b>	6,45	9,48	0,68	2/3	1	1	61,15	5,40	0,09	8,83	3,91	1,50	1,00	Moyenne	Ouest
<b>SII-2</b>	6,45	9,38	0,69	2/3	2	1	60,50	5,40	0,09	8,93	3,91	1,50	1,00	Moyenne	Ouest
<b>SII-3</b>	6,45	9,38	0,69	2/3	2	1	60,50	5,40	0,09	8,93	3,91	1,50	1,00	Moyenne	Est

<b>SII-4</b>	6,45	9,38	0,69	2/3	2	1	60,50	5,40	0,09	8,93	3,91	1,50	1,00	Moyenne	Est	
<b>SII-5</b>	6,45	9,38	0,69	2/3	2	1	60,50	5,40	0,09	8,93	3,91	1,50	1,00	Moyenne	Ouest	
<b>SII-6</b>	6,45	9,48	0,68	2/3	1	1	61,15	5,40	0,09	8,83	3,91	1,50	1,00	Moyenne	Ouest	
<b>SII-7</b>	6,45	9,38	0,69	2/3	2	1	60,50	5,40	0,09	8,93	3,91	1,50	1,00	Moyenne	Est	
<b>SII-8</b>	6,45	9,38	0,69	2/3	2	1	60,50	5,40	0,09	8,93	3,91	1,50	1,00	Moyenne	Est	
<b>SII-9</b>	6,45	9,38	0,69	2/3	1	1	60,50	5,40	0,09	8,93	3,91	1,50	1,00	Moyenne	Ouest	
<b>SII-10</b>	6,45	9,48	0,68	2/3	1	1	61,15	5,40	0,09	8,83	3,91	1,50	1,00	Moyenne	Ouest	
<b>SII-11</b>	6,45	9,38	0,69	2/3	2	1	60,50	5,40	0,09	8,93	3,91	1,50	1,00	Moyenne	Est	
<b>SII-12</b>	6,45	9,38	0,69	2/3	2	1	60,50	5,40	0,09	8,93	3,91	1,50	1,00	Moyenne	Est	
<b>BLOC III : Bloc TD faculté des lettres et des langues</b>																
	<b>Forme</b>						<b>Ouvertures</b>								<b>Orientation</b>	
	<b>L (m)</b>	<b>P (m)</b>	<b>L/P</b>	<b>Pr</b>	<b>MI</b>	<b>Mpo</b>	<b>Sp (m<sup>2</sup>)</b>	<b>So (m<sup>2</sup>)</b>	<b>So/Sp</b>	<b>% O</b>	<b>Hmf (m)</b>	<b>Ho (m)</b>	<b>Ha (m)</b>	<b>Pos</b>	<b>Or</b>	
<b>SIII-1</b>	6,05	8,30	0,73	3/4	2	1	50,22	4,60	0,09	9,16	3,57	1,50	1,00	Moyenne	Nord	
<b>SIII-2</b>	6,05	8,30	0,73	3/4	2	1	50,22	4,60	0,09	9,16	3,57	1,50	1,00	Moyenne	Sud	
<b>SIII-3</b>	6,05	8,30	0,73	3/4	3	1	50,22	4,60	0,09	9,16	3,57	1,50	1,00	Moyenne	Nord	
<b>SIII-4</b>	6,05	8,30	0,73	3/4	3	1	50,22	4,60	0,09	9,16	3,57	1,50	1,00	Moyenne	Sud	
<b>SIII-5</b>	6,05	8,30	0,73	3/4	2	1	50,22	4,60	0,09	9,16	3,57	1,50	1,00	Moyenne	Nord	
<b>SIII-6</b>	6,05	8,30	0,73	3/4	2	1	50,22	4,60	0,09	9,16	3,57	1,50	1,00	Moyenne	Sud	
<b>SIII-7</b>	6,05	8,30	0,73	3/4	3	1	50,22	4,60	0,09	9,16	3,57	1,50	1,00	Moyenne	Nord	
<b>SIII-8</b>	6,05	8,30	0,73	3/4	3	1	50,22	4,60	0,09	9,16	3,57	1,50	1,00	Moyenne	Sud	
<b>SIII-9</b>	6,05	8,30	0,73	3/4	2	1	50,22	4,60	0,09	9,16	3,57	1,50	1,00	Moyenne	Nord	
<b>SIII-10</b>	6,05	8,30	0,73	3/4	2	1	50,22	4,60	0,09	9,16	3,57	1,50	1,00	Moyenne	Sud	
<b>SIII-11</b>	6,05	8,30	0,73	3/4	3	1	50,22	4,60	0,09	9,16	3,57	1,50	1,00	Moyenne	Nord	
<b>SIII-12</b>	6,05	8,30	0,73	3/4	3	1	50,22	4,60	0,09	9,16	3,57	1,50	1,00	Moyenne	Sud	
<b>BLOC IV : Bloc TD Magherbi</b>																
	<b>Forme</b>						<b>Ouvertures</b>								<b>Orientation</b>	
	<b>L (m)</b>	<b>P (m)</b>	<b>L/P</b>	<b>Pr</b>	<b>MI</b>	<b>Mpo</b>	<b>Sp (m<sup>2</sup>)</b>	<b>So (m<sup>2</sup>)</b>	<b>So/Sp</b>	<b>% O</b>	<b>Hmf (m)</b>	<b>Ho (m)</b>	<b>Ha (m)</b>	<b>Pos</b>	<b>Or</b>	

<b>SIV-1</b>	5,90	8,20	0,72	3/4	2	2	48,38	8,72	0,18	18,02	3,74	0,80	1,00	Basse	Nord	
<b>SIV-2</b>	5,90	8,40	0,70	3/4	1	2	49,56	8,72	0,18	17,59	3,74	0,80	1,00	Basse	Nord	
<b>SIV-3</b>	5,90	8,40	0,70	3/4	1	2	49,56	8,72	0,18	17,59	3,74	0,80	1,00	Basse	Nord	
<b>SIV-4</b>	5,90	8,20	0,72	3/4	2	2	48,38	8,72	0,18	18,02	3,74	0,80	1,00	Basse	Nord	
<b>SIV-5</b>	5,90	8,20	0,72	3/4	2	2	48,38	8,72	0,18	18,02	3,74	0,80	1,00	Basse	Sud	
<b>SIV-6</b>	5,90	8,40	0,70	3/4	1	2	49,56	8,72	0,18	17,59	3,74	0,80	1,00	Basse	Sud	
<b>SIV-7</b>	5,90	8,40	0,70	3/4	1	2	49,56	8,72	0,18	17,59	3,74	0,80	1,00	Basse	Sud	
<b>SIV-8</b>	5,90	8,20	0,72	3/4	2	2	48,38	8,72	0,18	18,02	3,74	0,80	1,00	Basse	Sud	
<b>BLOC V : Bloc TD nouveau département d'architecture</b>																
	<b>Forme</b>						<b>Ouvertures</b>									<b>Orientation</b>
	<b>L (m)</b>	<b>P (m)</b>	<b>L/P</b>	<b>Pr</b>	<b>MI</b>	<b>Mpo</b>	<b>Sp (m<sup>2</sup>)</b>	<b>So (m<sup>2</sup>)</b>	<b>So/Sp</b>	<b>% O</b>	<b>Hmf (m)</b>	<b>Ho (m)</b>	<b>Ha (m)</b>	<b>Pos</b>	<b>Or</b>	
<b>SV-1</b>	7,40	8,25	0,90	1/1	1	1	61,05	5,13	0,08	8,40	3,91	0,90	/	/	Nord	
<b>SV-2</b>	7,40	8,25	0,90	1/1	2	1	61,05	5,13	0,08	8,40	3,91	0,90	/	/	Nord	
<b>SV-3</b>	7,40	8,15	0,91	1/1	2	1	60,31	5,13	0,09	8,51	3,91	0,90	/	/	Sud	
<b>SV-4</b>	7,40	8,15	0,91	1/1	2	1	60,31	5,13	0,09	8,51	3,91	0,90	/	/	Sud	
<b>BLOC VI : Bloc de l'ancien noyau</b>																
	<b>Forme</b>						<b>Ouvertures</b>									<b>Orientation</b>
	<b>L (m)</b>	<b>P (m)</b>	<b>L/P</b>	<b>Pr</b>	<b>MI</b>	<b>Mpo</b>	<b>Sp (m<sup>2</sup>)</b>	<b>So (m<sup>2</sup>)</b>	<b>So/Sp</b>	<b>% O</b>	<b>Hmf (m)</b>	<b>Ho (m)</b>	<b>Ha (m)</b>	<b>Pos</b>	<b>Or</b>	
<b>SVI-1</b>	7,40	8,25	0,90	1/1	1	1	61,05	5,13	0,08	8,40	3,91	0,90	/	/	Nord	
<b>SVI-2</b>	7,40	8,25	0,90	1/1	2	1	61,05	5,13	0,08	8,40	3,91	0,90	/	/	Nord	
<b>SVI-3</b>	7,40	8,15	0,91	1/1	2	1	60,31	5,13	0,09	8,51	3,91	0,90	/	/	Sud	
<b>SVI-4</b>	7,40	8,15	0,91	1/1	2	1	60,31	5,13	0,09	8,51	3,91	0,90	/	/	Sud	

## **Annexe C : Questionnaire**

- **Formulaire de questions :**
- **En langue française :**

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE**  
**SCIENTIFIQUE**  
**UNIVERSITE MOHAMED KHIDER - BISKRA**  
**FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE**  
**DEPARTEMENT D'ARCHITECTURE**

### **QUESTIONNAIRE**

Dans le cadre de la préparation d'un mémoire en vue d'obtention d'un magister en architecture, nous avons l'honneur de vous demander de bien vouloir nous aider en acceptant de répondre aux questions ci-joint. Votre précieuse collaboration nous permettra de connaître votre opinion. Vos réponses seront anonymes, pour une meilleure et libre expression.

Toute contribution en termes de délai de réponse, de suggestions et d'informations ne peut qu'enrichir notre étude et lui donner une meilleure qualité.

Merci pour votre aide et votre compréhension.

**N.B :**

- Cochez la case qui convient ou répondez sur la question s'il est demandé.

Lieu du travail : .....

Date : .....

Heure : .....

### I. Informations sur l'interviewé :

1. Sexe : Homme  Femme

2. Ville d'origine : .....

### II. Sensation de l'environnement thermique global :

3. Comment sentez-vous par rapport aux conditions intérieures pour les facteurs suivants :

3.1. Température :

3.1.1. Comment sentez-vous à ce moment ?

Très froid	Froid	Légèrement froid	Ni chaud ni froid	Légèrement chaud	Chaud	Très chaud
<input type="checkbox"/>						

3.1.2. Comment vous jugez cela ?

Acceptable	Légèrement inacceptable	Inacceptable	Très inacceptable
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3.1.3. A ce moment, préférez-vous avoir ?

Beaucoup plus froid	Plus froid	Un peu plus froid	Pas de changement	Un peu plus chaud	Plus chaud	Beaucoup plus chaud
<input type="checkbox"/>						

3.2. Humidité de l'air :

3.2.1. Décrivez votre sensation de l'humidité de l'air en ce moment ?

Très sec	Sec	Légèrement sec	Ni sec ni humide	Légèrement humide	humide	Très humide
<input type="checkbox"/>						

## 3.2.2. Comment vous jugez cela ?

Acceptable	Légèrement inacceptable	Inacceptable	Très inacceptable
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 3.2.3. Est-ce vous préférez un environnement intérieur ?

Beaucoup plus sec	Plus sec	Un peu plus sec	Pas de changement	Un peu plus humide	Plus humide	Beaucoup plus humide
<input type="checkbox"/>						

## 3.3. Mouvements d'air :

## 3.3.1. Décrivez votre sensation du mouvement de l'air en ce moment ?

Calme	léger	Moyen	Elevé	Très élevé
<input type="checkbox"/>				

## 3.3.2. Vous jugez cela comme ?

Acceptable	Légèrement inacceptable	Inacceptable	Très inacceptable
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 3.3.3. Préférez-vous qu'il y ait ?

Moins de mouvements	Un peu moins de mouvements	Sans changement	Un peu plus de mouvements	Plus de mouvements
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 3.4. Jugez-vous l'ensoleillement de votre salle comme gênant ?

Oui  Non

- Si vous répondez « Oui », il est gênant par rapport à :

L'espace du travail	<input type="checkbox"/>	Le confort personnel (exposition au soleil)	<input type="checkbox"/>
L'éblouissement	<input type="checkbox"/>		

4. Tenant compte de tous ces paramètres (température, humidité de l'air, vitesse de l'air, ensoleillement), vous jugez l'environnement hygrothermique ?

Confortable	Légèrement inconfortable	inconfortable	Très inconfortable
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

5. Comment jugez-vous le niveau d'éclairage naturel ?

	Peu éclairé	Juste	Trop éclairé
Dans la salle en général			
Sur votre espace de travail			

- En langue arabe :

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

جامعة محمد خيضر بسكرة

كلية العلوم و التكنولوجيا

قسم الهندسة المعمارية

**استمارة استجواب**

في إطار التحضير لمذكرة ماجستير في الهندسة المعمارية لنا الشرف أن نطلب منكم التعاون معنا و ذلك بقبول الإجابة على الأسئلة المرفقة. يمكنكم الإجابة بكل حرية و طلاقة لأن المعطيات التي ستقدمونها سوف تعالج بتستر تام و لن يتم الكشف عن أي معلومة شخصية. مساهمتكم القيمة ستسمح لنا بالحصول على معلومات هامة و مفيدة مما يساهم في إعطاء وزن لدراستنا و يسهل علينا الوصول إلى أهدافنا.

**ملاحظة:**

- ضعوا علامة (X) في المكان المناسب أو أجبوا على السؤال إذا طلب منكم ذلك.

مكان العمل : .....

التاريخ : .....

الساعة : .....

### I. معلومات خاصة بالشخص :

1- الجنس : ذكر  أنثى

2- المدينة الأصلية : .....

### II. الإحساس فيما يخص المحيط الحراري العام :

3- كيف تحسون بخصوص الظروف الداخلية بالنسبة للعوامل التالية :

3-1- الحرارة :

3-1-1- كيف تشعرون في الوقت الحالي ؟

بارد جدا	بارد	بارد قليلا	معتدل	ساخن قليلا	ساخن	ساخن جدا
<input type="checkbox"/>						

3-1-2- كيف تحكمون على هذا الإحساس؟

مقبول	غير مقبول نوعا ما	غير مقبول	غير مقبول إطلاقا
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3-1-3- إذن ماذا تفضلون بخصوص درجة الحرارة ؟

أبرد بكثير	أبرد	أبرد قليلا	دون تغيير	أسخن قليلا	أسخن	أسخن بكثير
<input type="checkbox"/>						

3-2- رطوبة الهواء :

3-2-1- ما هو إحساسكم بخصوص رطوبة الهواء في هذا الوقت ؟

جاف جدا	جاف	جاف قليلا	معتدل	رطب قليلا	رطب	رطب جدا
<input type="checkbox"/>						

3-2-2- كيف تجدون مستوى رطوبة الهواء ؟

مقبول      غير مقبول نوعا ما      غير مقبول      غير مقبول إطلاقا

3-2-3- إذن ماذا تفضلون ؟

أجف بكثير      أجف      أجف قليلا      دون تغيير      أرطب قليلا      أرطب      أرطب بكثير

3-3- حركة الهواء :

3-3-1- هل تحسون أن حركة الهواء ؟

هادئة      خفيفة      معتدلة      قوية      قوية جدا

3-3-2- ما هو تقييمكم بخصوص حركة الهواء ؟

مقبول      غير مقبول نوعا ما      غير مقبول      غير مقبول إطلاقا

3-3-3- إذن هل تفضلون ؟

حركة أقل      حركة أقل بقليل      بدون تغيير      حركة أكثر بقليل      حركة أكثر

3-4- هل تعتبرون أن تشميس القاعة مزعج ؟

نعم     

- إذا كانت إجابتكم "نعم" فهل تعتبرونه مزعجا بالنسبة إلى :

الانبهار (يعمي العينين)       حيز العمل

الرفاهية الشخصية (التعرض للشمس)

9- نأخذ بعين كل العوامل (الحرارة، الرطوبة، حركة الهواء، التشميس)، كيف تحكمون على المحيط الحراري الداخلي؟

مريح      غير مريح نوعا ما      غير مريح      غير مريح إطلاقا

14- كيف تحكمون على مستوى الإضاءة الطبيعية؟

إضاءة قليلة	إضاءة كافية	إضاءة شديدة	
			في القاعة على العموم
			على مستوى حيز العمل

• Codages des données du questionnaire :

Question 1 : Sexe						
Homme			Femme			
H			F			
Question 2 : ville d'origine						
Noter la ville d'origine						
Question 3.1.1 : Sensation température						
Très froid	Froid	Légèrement froid	Ni chaud ni froid	Légèrement chaud	Chaud	Très chaud
TF	F	LF	N	LCh	Ch	TCh
Question 3.1.2 : Acceptabilité température						
Acceptable		Légèrement inacceptable		Inacceptable		Très inacceptable
Ac		LInac		Inac		TInac
Question 3.1.3 : Préférence température						
Beaucoup plus froid	Plus froid	Un peu plus froid	Pas de changement	Un peu plus chaud	Plus chaud	Beaucoup plus chaud
BPF	PF	PPF	Sans	PPCh	PCh	BPCh
Question 3.2.1 : Sensation humidité						
Très sec	Sec	Légèrement sec	Ni sec ni humide	Légèrement humide	humide	Très humide
TS	S	LS	N	LH	H	TH

<b>Question 3.2.2 : Acceptabilité humidité</b>						
Acceptable	Légèrement inacceptable		Inacceptable		Très inacceptable	
<b>Ac</b>	<b>LInac</b>		<b>Inac</b>		<b>TInac</b>	
<b>Question 3.2.3 : Préférence humidité</b>						
Beaucoup plus sec	Plus sec	Un peu plus sec	Pas de changement	Un peu plus humide	Plus humide	Beaucoup plus humide
<b>BPS</b>	<b>PS</b>	<b>PPS</b>	<b>Sans</b>	<b>PPH</b>	<b>PH</b>	<b>BPH</b>
<b>Question 3.3.1 : Sensation vitesse du vent</b>						
Calme	léger	Moyen		Elevé	Très élevé	
<b>C</b>	<b>L</b>	<b>M</b>		<b>E</b>	<b>TE</b>	
<b>Question 3.3.2 : Acceptabilité vitesse du vent</b>						
Acceptable	Légèrement inacceptable	Inacceptable		Très inacceptable		Acceptable
<b>Ac</b>	<b>LInac</b>	<b>Inac</b>		<b>TInac</b>		<b>Ac</b>
<b>Question 3.3.3 : Préférence vitesse du vent</b>						
Moins de mouvements	Un peu moins de mouvements	Sans changement		Un peu plus de mouvements	Plus de mouvements	
<b>MM</b>	<b>PMM</b>	<b>Sans</b>		<b>PPM</b>	<b>PM</b>	
<b>Question 3.4 : Gêne ensoleillement</b>						
Oui			Non			
<b>Oui</b>			<b>Non</b>			
<b>Par rapport à</b>						
Oui			Non			
<b>Oui</b>			<b>Non</b>			
<b>Environnement thermique</b>						
Confortable	Légèrement inconfortable		inconfortable		Très inconfortable	
<b>C</b>	<b>LInc</b>		<b>Inc</b>		<b>TInc</b>	
<b>Niveau d'éclairage naturel</b>						
Peu éclairé		Juste			Trop éclairé	
<b>PE</b>		<b>J</b>			<b>TE</b>	

## Annexe D : Simulation via Ecotect®

- Etapes du travail via Ecotect® :

Parameter	Value	
ProjectTitle	Blocs d'enseignement - Université Biskra	← Titre du dessin
Description		
JobReference		
ClientName		
BuildingType	Further education universities	← Type du bâtiment
<b>EXTERNAL FILE REFERENCES</b>		
WeatherDataFile	C:\Program Files\Autodesk\Ecotect Analysis 2011\Weather Data\Biskra.wea	↑ Données climatiques
AuroRunScript		

Latitude: Longitude:  
[34.0000° [5.0000°  
Local Time Zone:  
GMT London

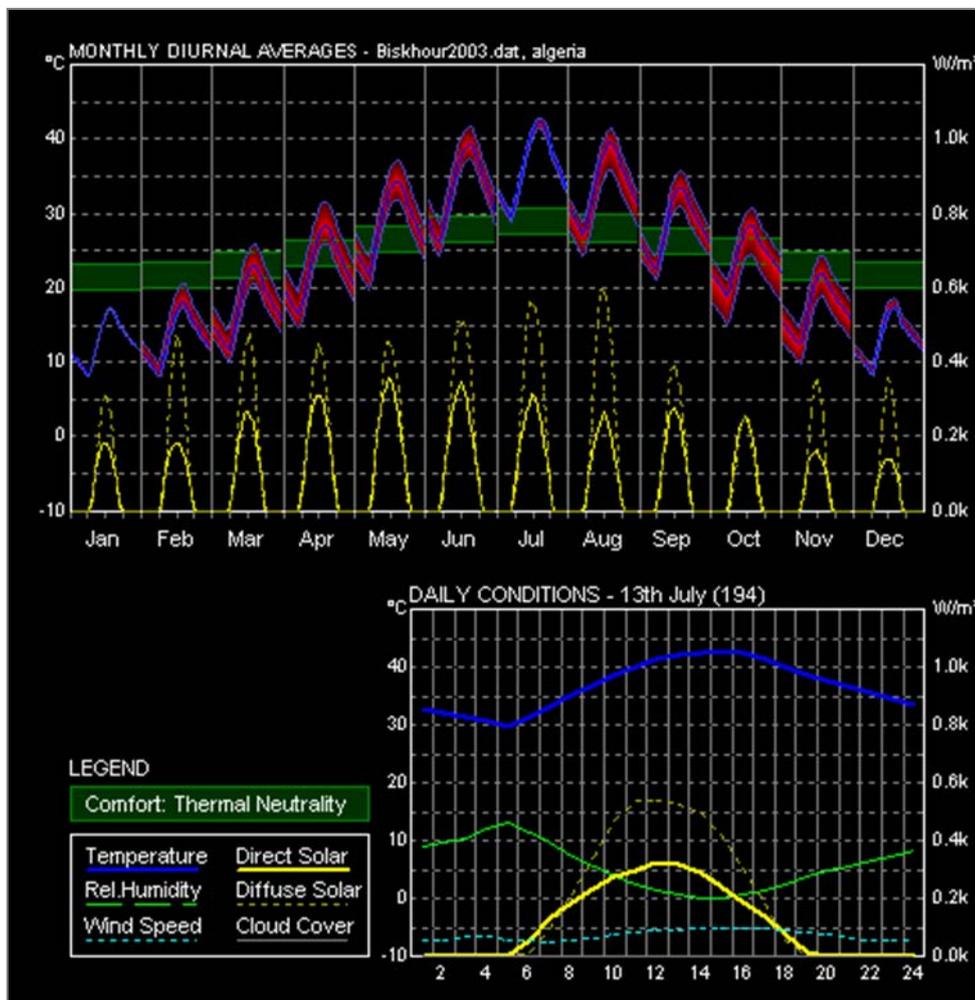
End... Map...  
Use Google maps...

**Site Specifics**  
North Offset:  
[0.0°  
Altitude:  
[0.000

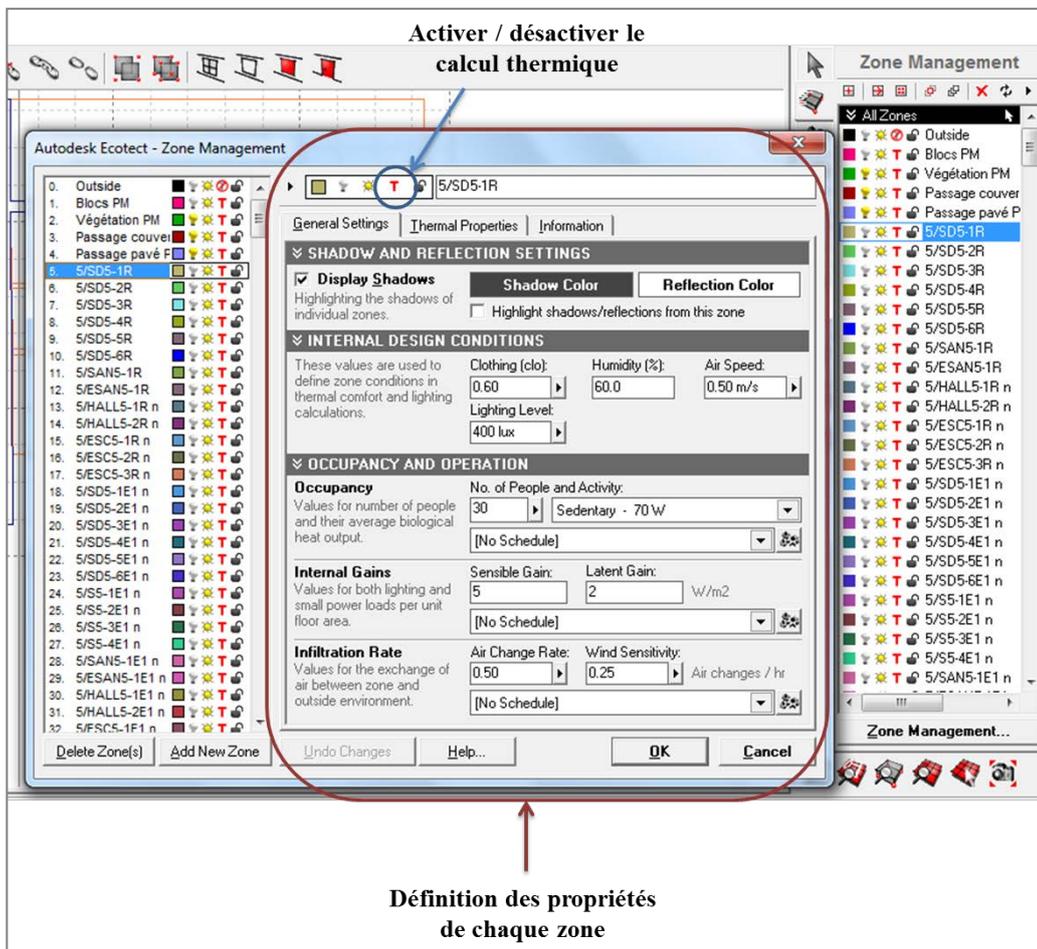
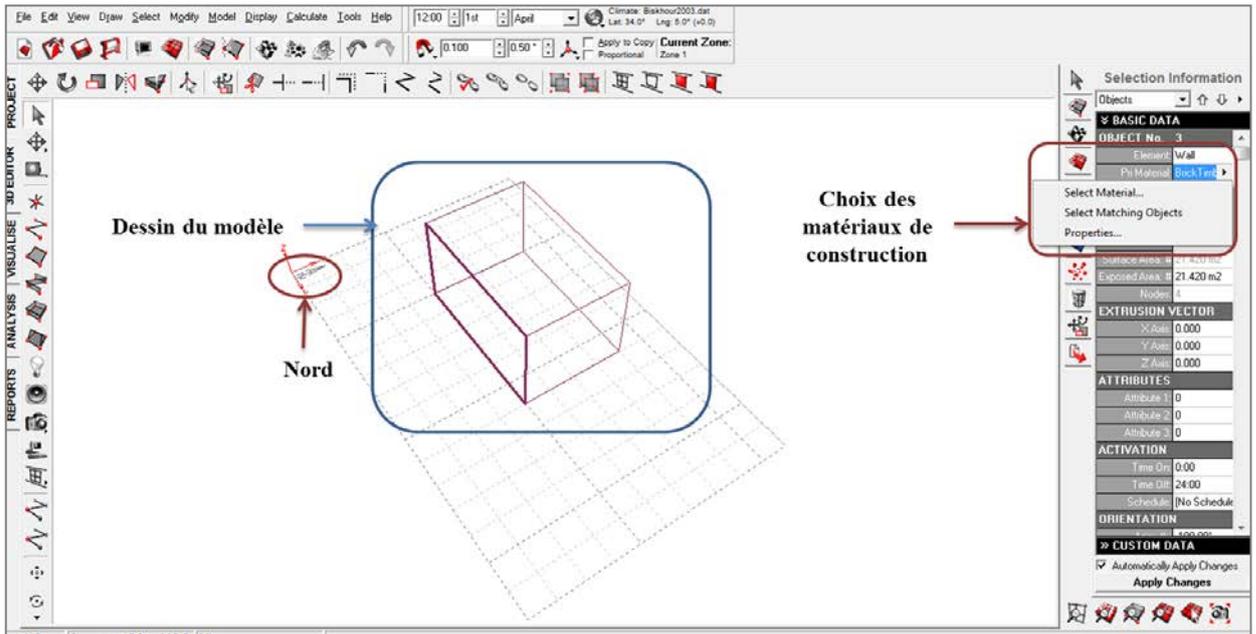
Local Terrain:  
Urban

L'environnement du bâtiment →

### Etape01 : Préparation



Fichier climat (données climatiques de la ville de Biskra)



## Etape 02 : Dessin

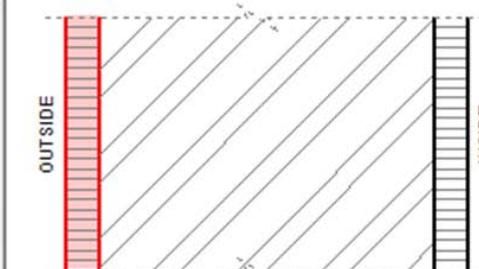


Model Library Properties Layers Acoustics Advanced Export No Highlight

[All Types]

- Wood Virginia Pine (Across
- Wood White Fir (Across Gra
- Wood White Pine (Across G
- Woodwool
- Woodwool Board, Cement E
- Woodwool Roofing Slabs
- Woodwool, Xylolite Cement
- Wool
- Wool Felt Underlay
- Wool, Fibrous
- Wool, Resin Bonded

Calculate Thermal Properties



Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.	Type
1. Plaster Building (Molded Dry)	0.010	400.0	808.000	0.100	85
2. Brick Masonry Medium	0.100	1785.0	837.000	0.450	25
3. Plaster Building (Molded Dry)	0.010	400.0	808.000	0.100	85

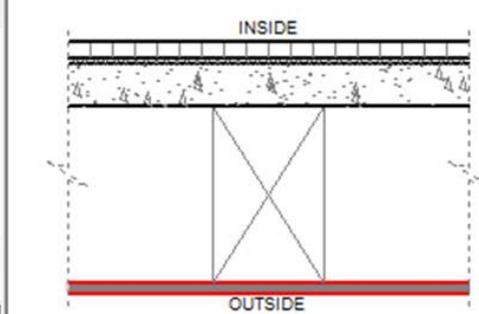
Mur intérieur

Model Library Properties Layers Acoustics Advanced Export No Highlight

[All Types]

- Wood Virginia Pine (Across
- Wood White Fir (Across Gra
- Wood White Pine (Across G
- Woodwool
- Woodwool Board, Cement E
- Woodwool Roofing Slabs
- Woodwool, Xylolite Cement
- Wool
- Wool Felt Underlay
- Wool, Fibrous
- Wool, Resin Bonded

Calculate Thermal Properties



Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.	Type
1. platre	0.010	400.0	808.000	0.100	85
2. Air Gap	0.160	1.2	1004.400	5.560	15
3. dalle pleine	0.040	2304.0	837.000	0.930	35
4. Lit de sable	0.005	1520.0	808.000	0.346	95
5. carellage	0.015	240.0	732.200	2.800	79

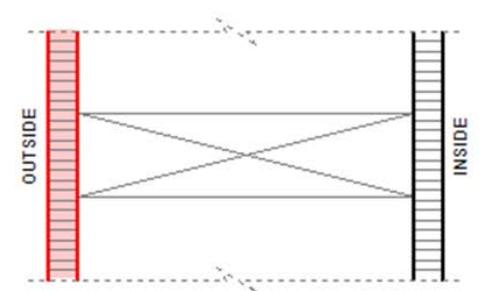
Plancher

Model Library Properties Layers Acoustics Advanced Export No Highlight

Appliances  
Cameras  
Ceilings  
Doors  
FoamCore\_Plywood  
GlassSlidingDoor  
HollowCore\_Plywood  
porte\_  
porte\_contreplaqu\_  
porte\_contreplaqu\_  
SolidCore\_OakTimber  
SolidCore\_PineTimber  
Floors  
Lights  
Lines  
Panels  
Partitions  
Points  
Roofs

[All Types]  
Wood Virginia Pine (Across  
Wood White Fir (Across Gre  
Wood White Pine (Across G  
Woodwool  
Woodwool Board, Cement E  
Woodwool Roofing Slabs  
Woodwool, Xylolite Cement  
Wool  
Wool Felt Underlay  
Wool, Fibrous  
Wool, Resin Bonded

Calculate Thermal Properties



Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.	Type
1. Plywood	0.003	530.0	1400.000	0.140	85
2. Air Gap	0.034	1.3	1004.000	5.560	15
3. Plywood	0.003	530.0	1400.000	0.140	85

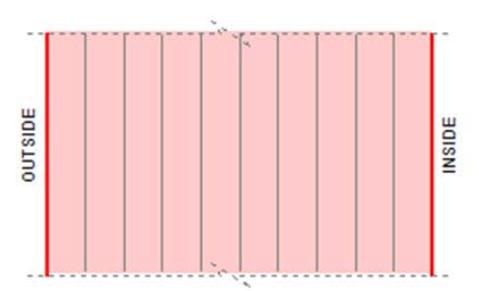
Porte intérieur

Model Library Properties Layers Acoustics Advanced Export No Highlight

Points  
Roofs  
Solar Collectors  
Speakers  
Voids  
Walls  
Windows  
DoubleGlazed\_AlumFrame  
DoubleGlazed\_LowE\_AlumFra  
DoubleGlazed\_LowE\_Timberf  
DoubleGlazed\_TimberFrame  
fen\_tre\_en\_aluminium  
Fenetre\_en\_bois  
SingleGlazed\_AlumFrame  
SingleGlazed\_AlumFrame\_Blir  
SingleGlazed\_TimberFrame  
Translucent\_Skylight  
Vitrage\_simple

[All Types]  
Wood Virginia Pine (Across  
Wood White Fir (Across Gre  
Wood White Pine (Across G  
Woodwool  
Woodwool Board, Cement E  
Woodwool Roofing Slabs  
Woodwool, Xylolite Cement  
Wool  
Wool Felt Underlay  
Wool, Fibrous  
Wool, Resin Bonded

Calculate Thermal Properties



Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.	Type
1. Glass Standard	0.006	2710.0	837.000	0.762	75

Fenêtre en bois

## Properties of Selected Materials

(a) Properties of some commonly used metals at 20°C

	Density $\rho$ ( $\text{kg m}^{-3}$ )	Thermal conductivity $k$ ( $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ )	Specific heat $c_p$ ( $\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ )	Volumetric heat capacity $\rho c_p$ ( $10^6 \text{ J m}^{-3} \text{K}^{-1}$ )	Thermal diffusivity $\alpha$ ( $10^{-6} \text{ m}^2 \text{s}^{-1}$ )
Aluminium	2790	164	883	2.46	66.6
Brass	8520	111	385	3.28	33.8
Cast iron (4% C)	7270	52	419	3.05	17.6
Copper	8960	386	389	3.48	110.9
Magnetite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )	5177	1.9	752	3.85	0.5
Steel (1% C)	7800	43	473	3.69	11.7

(b) Average properties of some common non-metallic solids at 20°C

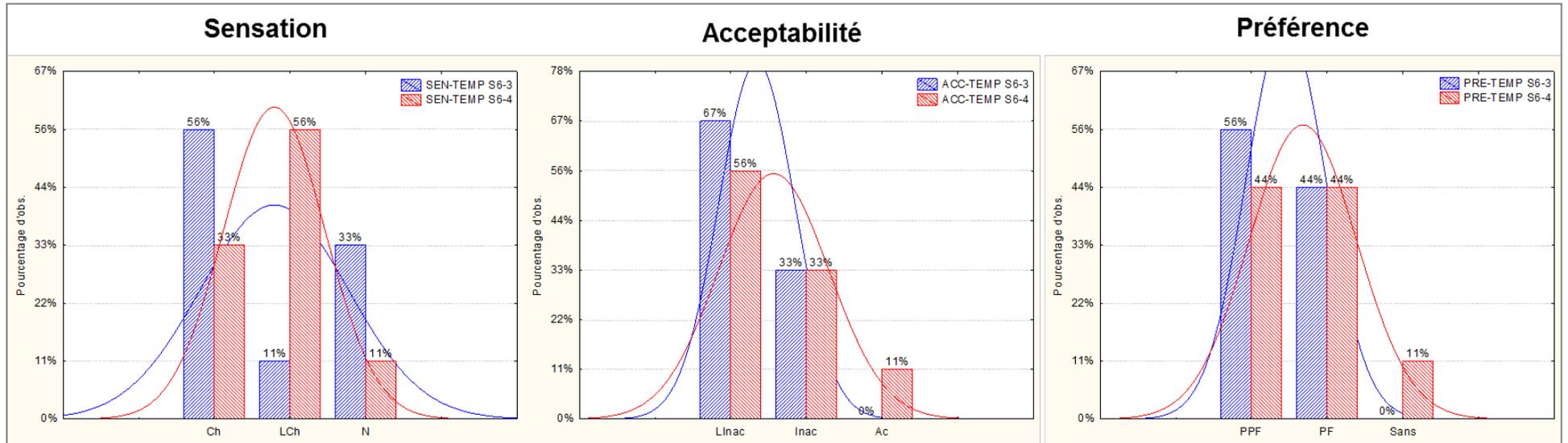
Ash	720	0.10	—	—	—
Brick (dry)	1785	0.45	837	1.49	0.30
(9% moisture)	1892	0.80	837	1.49	0.54
Cardboard (corrugated)	105	0.047	—	—	—
Cement	1700	0.80	—	—	—
Clay	1458	1.28	879	1.28	1.00
Concrete	2110	1.10	897	1.89	0.62
(Stone)	2304	0.93	837	1.93	0.48
(10% moisture)	2240	1.211	837	1.87	0.64
Cotton	80	0.059	1300	0.10	0.59
Cotton wool	80	0.041	—	—	—
Corkboard	160	0.043	2000	0.32	0.13
Diatomaceous earth	320	0.062	879	0.28	0.22
Earth (coarse gravelly)	2050	0.521	1840	3.77	0.14
Fibreglass	10–150	0.037	—	—	—
Fibre insulating board	237	0.048	—	—	—
Glass plate	2710	0.762	837	2.27	0.34
Glass wool	200	0.04	670	0.13	0.31
Granite	—	2.80	—	—	—
Ice (at 0°C)	913	2.21	1930	1.76	1.26
Kapok	20	0.035	—	—	—
Marble	2600	2.77	808	2.10	1.32
Mineral wool	150	0.038	—	—	—
Mud	1840	0.43	—	—	—
Paper	—	0.1275	—	—	—
Plaster	400	0.10	—	—	—
Polystyrene (expanded)	25	0.034	—	—	—
Rockwool	128	0.029	—	—	—
Roofing felt	960	0.19	—	—	—
Sand (dry)	1520	0.346	—	—	—
(10% moisture)	1600	0.38	—	—	—

213

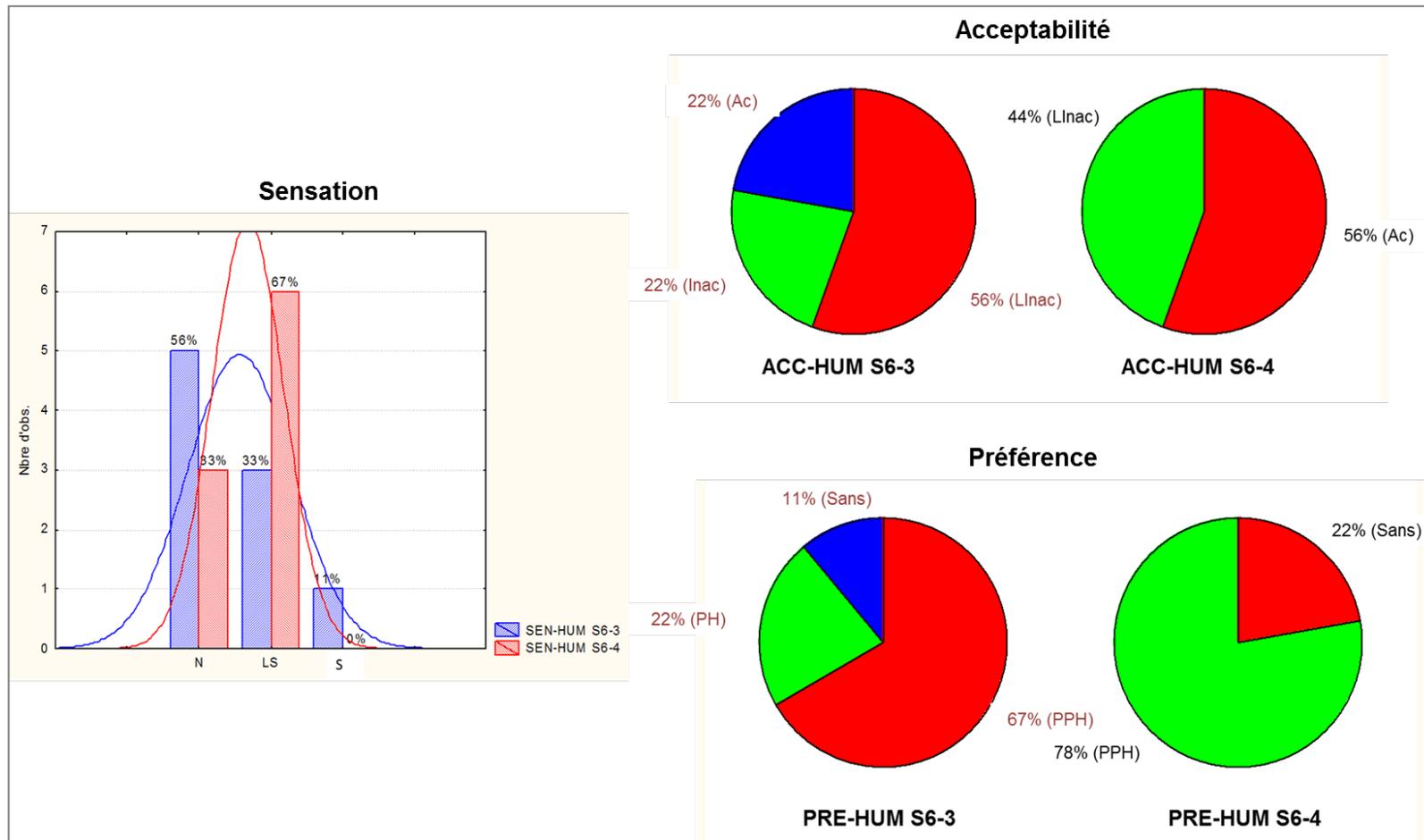
## Propriétés thermiques des matériaux de construction

### Annexe D : Exemples de graphes représentant l'évaluation subjective

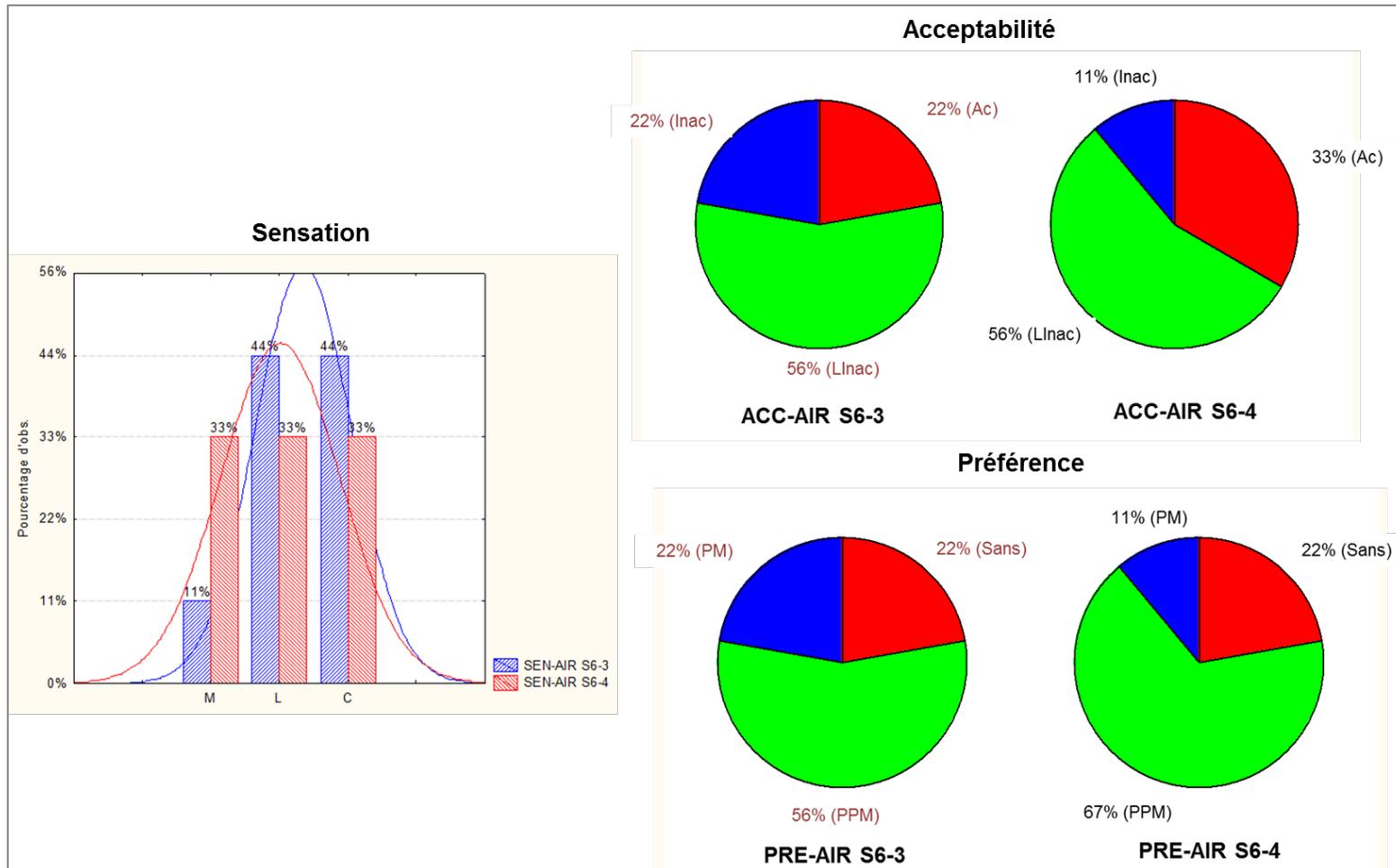
- Graphes représentant la sensation, l'acceptabilité et la préférence par rapport à de la température intérieure (exp : proportion de la salle de classe) :



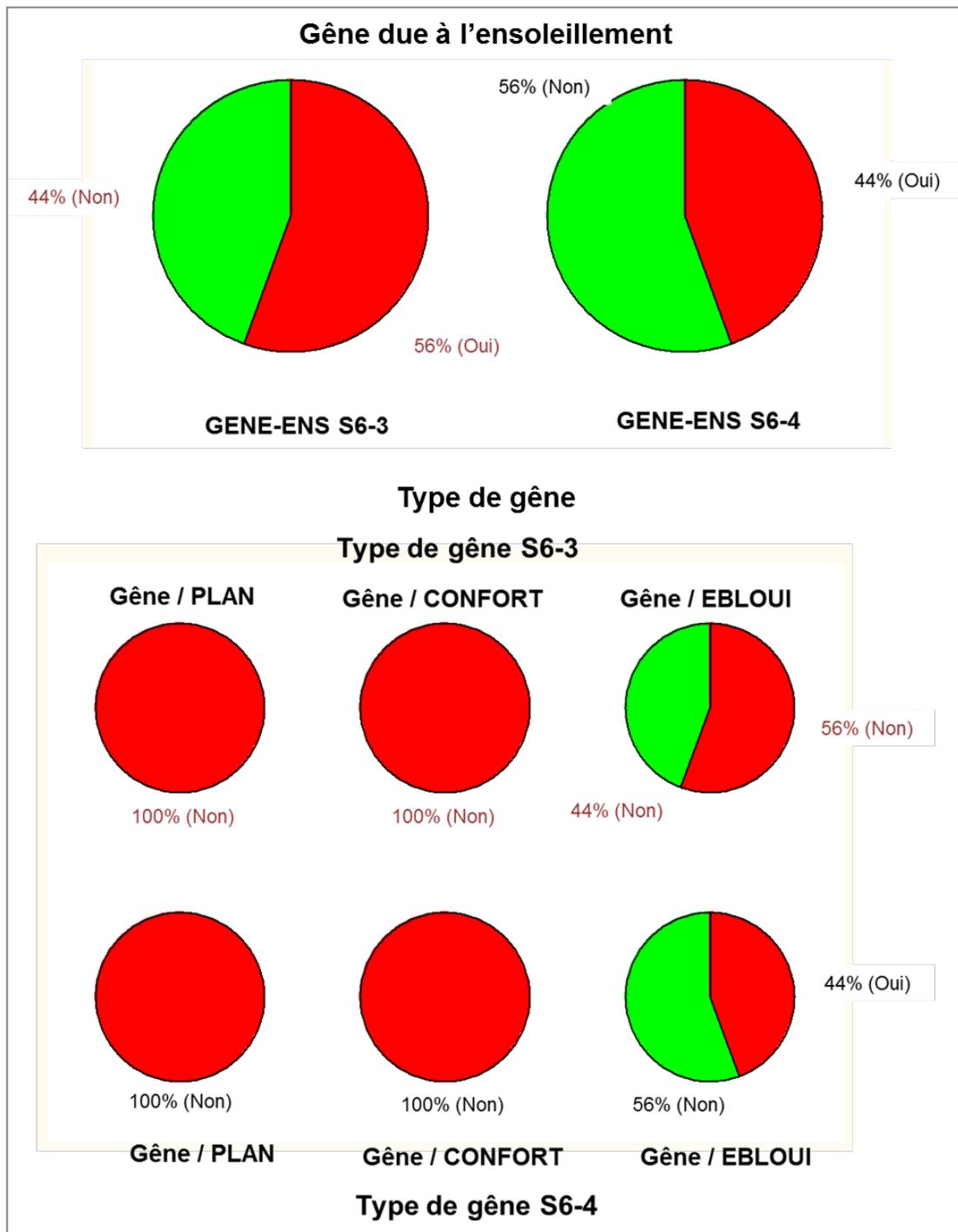
- Graphes représentant la sensation, l'acceptabilité et la préférence par rapport à de l'humidité relative (exp : proportion de la salle de classe) :



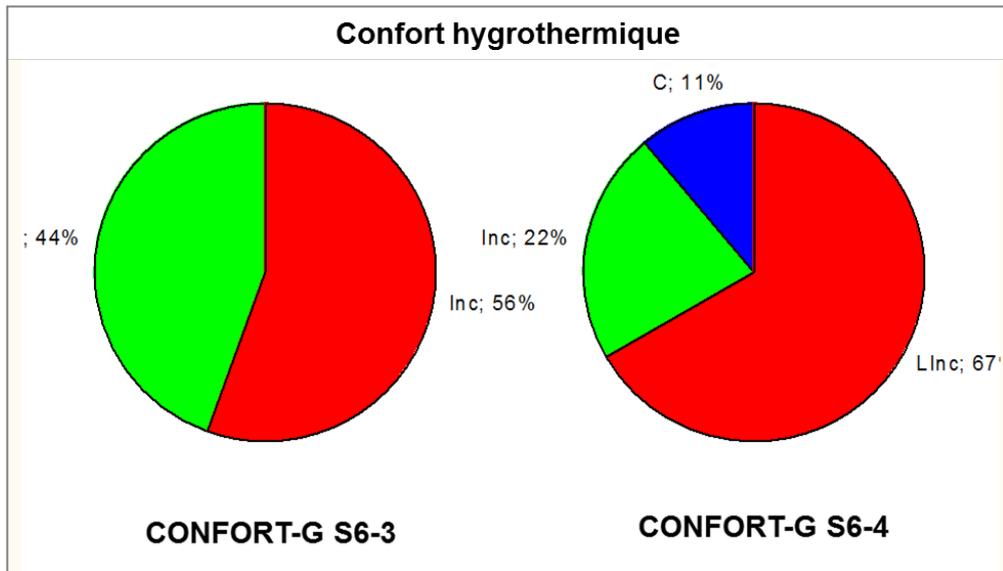
- Graphes représentant la sensation, l'acceptabilité et la préférence par rapport à la vitesse du vent (exp : proportion de la salle de classe) :



- Graphes représentant la sensation, l'acceptabilité et la préférence par rapport à la gêne due à l'ensoleillement (exp : proportion de la salle de classe) :



- Graphes représentant le jugement du confort hygrothermique de l'environnement intérieur (exp : proportion de la salle de classe) :



- Graphes représentant le jugement du niveau d'éclairage naturel à l'intérieur des salles de classe (exp : proportion de la salle de classe) :

