

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Mohamed kheider. Biskra

Faculté des sciences et de la technologie

Département d'architecture

FORME ARCHITECTURALE ET PERFORMENCE

ENERGETIQUE.

VERS UN MODELE CONCEPTUEL

Mémoire soumis en vue de l'obtention d'un Magister en Architecture.

Option : Architecture, Forme, Ambiances, et Développement Durable.

Présenté par :

TAYEB Keltoum

Soutenu devant le jury composé de :

Président :	Dr. ZEMOURI Nouredine	M. C. A	Université de Biskra.
Rapporteur :	Pr. MAZOUZ Said	Professeur	Université de Biskra.
Membre :	Dr. ALKAMA Djamel	M. C. A	Université de Biskra.
Membre :	Dr BELAKHAL Azeddine	M. C. A	Université de Biskra.

.....

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION

Longtemps considérée comme l'un des piliers du développement social, l'éducation présente aujourd'hui des défis importants à l'échelle planétaire dont les débats occupent l'une des premières places dans les discussions sur le présent et sur l'avenir de la population mondiale. Ces débats se font à tous les niveaux et dans toutes les régions, avec une persistance qui confirme l'importance de l'éducation comme un droit et un facteur important du développement global de l'individu et des sociétés et son rôle essentiel dans la contribution à la résolution des nouveaux défis de ce XXI^{ème} siècle tels l'analphabétisme et l'ignorance.

La survie des peuples dépend en grande partie de la volonté de chaque gouvernement d'investir le maximum de ressources dans la préparation des générations montantes aux nouveaux critères de compétition et de développement. Conscients du rôle important que doit jouer le système éducatif pour la concrétisation de ces ambitieux objectifs, l'ensemble des pays de la planète, et à des degrés divers, placent dans l'éducation et la formation d'immenses espoirs. Cela s'explique par les vastes réformes que connaît la plupart des systèmes scolaires, eu vue d'améliorer l'accès à l'éducation et donner à tous les élèves les moyens nécessaires de la réussite.

Aborder un thème aussi important que celui de la conception de l'espace éducatif lié à son environnement n'est pas une tâche facile, vue qu'il a trait directement à l'avenir de l'humanité à savoir, la formation de l'individu, l'épanouissement de sa personnalité et son intégration dans la société tout en lui garantissant une vie saine, confortable et prospère dans les lieux respectueux de l'environnement.

Bien que le droit à l'éducation implique pour tous les enfants, sans distinction aucune, la possibilité d'être formés dans des locaux convenables et dans des classes pourvues des installations et du matériel didactique nécessaires à une véritable éducation, il n'en demeure pas moins qu'en ce début du XXI^{ème} siècle et dans de nombreux pays sous-développés ou en voie de développement, les pratiques éducatives continuent malheureusement à s'exercer souvent dans des conditions généralement très pénibles et dans des espaces non appropriés entravant considérablement les efforts soutenus des enseignants et des apprenants et induisant ainsi des effets négatifs sur leur rendement du système scolaire.

Des recherches récentes ont démontré qu'il y a un lien direct entre la qualité des locaux éducatifs, du mobilier scolaire et des outils pédagogiques d'une part, et le développement de la qualité de l'éducation et son efficacité d'autre part. C'est ainsi que des constructions adaptées

et des moyens didactiques adéquats et de bonne qualité ont un effet positif sur la scolarisation et les taux de réussite scolaire.

MAZALTO [2007], affirme que l'architecture scolaire n'est pas neutre. Les chercheurs affirment que le milieu de vie où s'exercent les activités éducatives, joue un rôle capital dans le développement des individus, en particulier des enfants. En effet, L'architecture a une influence très forte sur la qualité d'un établissement scolaire et son efficacité pédagogique. Partant de ce principe que la qualité architecturale et environnementale de l'établissement scolaire est un élément essentiel à l'amélioration de la qualité de l'éducation plusieurs stratégies ont été mises en place de par le monde visant à placer les élèves et le personnel enseignant dans les meilleures conditions possibles de travail. C'est ainsi que l'évolution de la conception architecturale des infrastructures éducatives se caractérise aujourd'hui par l'insertion des bâtiments dans leur contexte environnemental.

Dans notre recherche, nous nous intéressons principalement à l'architecture des établissements scolaires ainsi que la dépendance entre la forme architecturale et les conditions climatiques du site d'implantation, dans le but est de déduire la forme la plus adéquate avec son environnement externe, offrant ainsi, des meilleures performances du point de vue énergétique afin d'assurer un lieu plus confortable aux apprenants ainsi que de faciliter la tâche pédagogique.

La forme a toujours fait l'objet d'investigations pluridisciplinaires (philosophiques, architecturales, scientifiques,...etc.). Seulement, malgré les avancées notables dans le domaine, le savoir architectural accuse toujours un déficit en manuels pratiques destinés, notamment, aux concepteurs et ce manque semble dû à la quantité infime de travaux ayant trait à la caractérisation de la forme architecturale et sa relation avec les performances énergétiques et climatiques.

En dépassant le simple constat, qui définit la forme en tant que limite concrète qui sépare, voir, isole l'enveloppe intérieure de son environnement extérieur, on notera que la forme architecturale possède plusieurs niveaux et dimensions ; c'est dire encore la forme elle-même, est contenu et contenant. En terme que contenu elle se suffit à elle-même, en temps que contenant, la forme subit elle les exigences extérieurs proprement dites : les éléments du climat.

Proposer une conception avec une forme architecturale adéquate à son environnement extérieur permet de réduire la consommation d'énergie des bâtiments, que ce soit pour le chauffage durant la période froide ou bien le rafraichissement durant la période chaude. Les formes architecturales sont spécifiquement adaptées aux climats locaux qui font de ces architectures des enveloppes régulatrices donnant place à un confort domestique adopté et répondent aux exigences des habitants en toute conscience des contraintes et des avantages du lieu d'installation. Les principes d'adaptation douce de cette architecture permettent souvent de révéler le caractère propre du lieu où elle s'installe (identification, orientation ...). Elle possède ainsi une valeur culturelle forte en s'inscrivant durablement dans le paysage où elle intègre les problématiques environnementales et énergétiques.

La prise en considération des paramètres environnementaux (ou simplement éléments du climat) dans la conception Architecturale n'est pas du tout un fait nouveau. Ce phénomène n'a cessé d'interpeller aussi bien les architectes, les philosophes que les théoriciens depuis bien des civilisations. Aujourd'hui, il est largement admis que toute forme architecturale doit prendre en considération les aspects énergétiques et climatiques, sans lesquels on ne pourra jamais atteindre la satisfaction réelle.

DÉFINITION DU PROBLÈME

Avec un Taux Net de Scolarisation d'environ 97% des enfants âgés de 6 ans, un parc immobilier scolaire estimé par le ministère de l'éducation en Algérie, pour la rentrée scolaire 2005/2006, à 22783 établissements, dont 17307 écoles primaires, 3981 collèges et 1495 lycées et avec un Taux national d'Occupation des Locaux d'environ 32.2 élèves par classe. [DJADI, 2005], le système éducatif Algérien a accompli des progrès considérables depuis l'indépendance sur le plan quantitatif et se compare favorablement à ceux d'autres pays à niveau similaire de développement, dans la région comme ailleurs.

Cependant et malgré cette évolution quantitative force est de noter aujourd'hui qu'un grand nombre d'infrastructures scolaires se trouvent dans un état déplorable et ne répondent plus aux exigences pédagogiques contemporaines susceptibles de favoriser la réussite scolaires des élèves, parfois même, elles sont érigées sans aucun égard aux propriétés et au contexte de l'environnement où elles sont implantées.

En matière d'infrastructures éducatives et dans le souci majeur d'éponger le déficit accru enregistré depuis l'indépendance, l'Algérie a eu recours à tous les systèmes constructifs de préfabrication, de l'utilisation souvent abusive des nouveaux matériaux issus de la technologie d'industrialisation et bâtiments, allant jusqu'à la standardisation presque générale des projets prototypes d'équipements scolaires à adapter aux différents sites, négligent à la fois les caractéristiques géographiques et bioclimatiques des différentes régions.

En effet, souvent ignorée, la qualité des lieux d'enseignement a toujours été le maillon manquant des multiples réformes qu'à connu le secteur de l'éducation nationale depuis l'indépendance du pays. La négligence des dimensions, tels que, la conception et sa forme architecturale ainsi que les conditions climatiques de l'environnement entourant, par les instances publiques chargées du suivi et contrôle des opérations de conception et de réalisation des établissements scolaires dans notre pays, et l'inexistence d'une politique règlementaire incitative fixant les exigences environnementales à intégrer dans ce type d'opérations, ont entraîné par voie de conséquence l'apparition d'un parc immobilier de bâtiments scolaires dépourvus de tout confort, ne répondant guère aux besoins de leurs occupants et ayant un impact considérablement négatif sur l'environnement extérieur et intérieur.

Dans ce contexte et dans l'objectif est de fournir aux concepteurs un manuel aisément accessible et pouvant servir de boîte à outils ou d'aide mémoire accompagnant l'architecte dans sa quête d'une solution architecturale satisfaisante et plus performante énergétiquement pour un climat particulier, il s'agit d'un climat chaud et sec.

Le problème qui se pose est l'absence de méthodes suffisamment conviviales, parlant le langage des architectes, pour permettre une meilleure prise en charge de cet aspect.

A partir de ce préambule, nous pourrions formuler les questionnements suivants ?

1. Comment peut-on arriver à des formes architecturales optimales du point de vue énergétique et climatique ?
2. Quels sont les moyens qui nous permettront d'arriver à pareil objectif ?
3. Et comment mettre ce ou ces moyens à la disposition des concepteurs pour garantir une prise en charge de cet aspect dans le processus de conception architecturale ?

L'hypothèse à vérifier est :

La constitution d'un savoir accessible par l'architecte et parlant son langage pourrait garantir la prise en compte de formes architecturales optimales dans le processus de conception.

Le traitement de notre sujet de recherche s'appuie sur un plan de travail qui s'articule autour de deux parties principales: l'une théorique et l'autre opérationnelle.

La première phase sera consacrée principalement à la partie introductive et théorique. Il s'agit de mettre en exergue la lumière sur les théories et les concepts supportant cette recherche. Elle est composée de trois chapitres :

Le premier chapitre portera sur la définition de l'architecture où nous nous engageons à donner une définition du mot 'architecture' formulées soit par des architectes célèbres ou recueillies dans des dictionnaires récents. Dans ce chapitre, nous présentons l'architecture comme étant un système complexe décrit à partir du concept de système donné par Herbert Simon ; un environnement interne, un environnement externe relié par une interface. Le but est de présenter l'influence de l'environnement externe dans la définition de la forme architecturale et en particulier, l'influence des conditions climatiques sur l'élaboration du projet architectural. Ces conditions, jouent un rôle primordial dans la définition de la forme architecturale et qui sont aussi, l'apport principal de notre recherche, où nous voudrions principalement, étudier l'influence des conditions climatiques sur la détermination de la forme d'une conception. Nous terminerons ce chapitre par la présentation de la genèse du forme et par une conclusion récapitulative.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons dans un premier temps les éléments du climat où nous exposerons quelques définitions issues de la littérature, utiles et nécessaire à la compréhension des chapitres qui vont être présentés ultérieurement. Dans un second temps, nous présentons les types des climats existants ainsi que leurs caractéristiques, en particulier le climat sec et chaud, où nous proposons quelques stratégies conceptuelles et techniques de régulation thermique, dans le but est d'améliorer le confort dans ce type de climat.

Au troisième chapitre, nous essayons d'explorer les différentes théories et modèles relatives au processus de conception architecturale dans le but est d'arriver à comprendre le processus de conception.

Le quatrième chapitre sera consacré à la présentation des thèmes de l'éducation et de l'architecture scolaires dans leurs dimensions globales. Dans un premier temps, nous parlerons de l'architecture scolaire sur le plan international où nous essayons de retracer son histoire et son évolution, ainsi, montrer l'importance des établissements scolaires dans la société. Nous présentons aussi, les établissements scolaires en Algérie, tout en retraçant l'histoire de l'éducation en Algérie ainsi que l'évolution et les perspectives de développement du système éducatif algérien. Dans un second temps, nous essayons de montrer la relation entre l'architecture scolaire et l'efficacité éducative. A la fin du chapitre, nous donnons quelques définitions liées aux collèges d'enseignement moyen (CEM) ainsi que ces composantes du point de vue architectural.

Un résumé sur les démarches d'analyse suivies ainsi qu'une présentation du modèle d'analyse seront présentés dans un cinquième chapitre. Aussi, une présentation du logiciel ECOTECH utilisé dans la simulation des performances énergétique sera aussi abordée dans ce chapitre.

Dans le dernier chapitre, nous présentons les résultats des simulations obtenues à partir du logiciel ECOTECH, dans le but est de faire une évaluation des performances énergétiques des quatre types de CEM proposés dans le cadre de notre travail. Ces performances concernent : le coefficient d'ombrage, l'ensoleillement, l'évolution temporelle de la température au sein des salles de classes et enfin le facteur de lumière du Jour (FLJ).

Le mémoire est ponctué par une conclusion générale.

CHAPITRE I

FORME ARCHITECTURALE

"Nos yeux sont faits pour voir les formes sous la lumière ; les ombres et les clairs révèlent les formes ; les cubes, les cônes, les sphères, les cylindres ou les pyramides sont les grandes formes primaires que la lumière révèle bien ; l'image nous en est nette et tangible, sans ambiguïté. C'est pour cela que ce sont de belles formes, les plus belles formes. Tout le monde est d'accord en cela, l'enfant, le sauvage et le métaphysicien."

Le Corbusier (1924)

I.1. INTRODUCTION

L'architecture est placée sous le signe de la duplicité. Elle rapproche et rassemble l'homme et l'univers, le visible et l'invisible, le physique et la métaphysique. Malgré les apparences, l'architecture n'a rien de statique. Elle ne se borne pas à présenter côte -à- côte des mondes en opposition. Elle montre le chemin qui va de l'un à l'autre. Elle nous accompagne dans ce voyage au pays de l'invisible. Comprendre l'architecture n'est pas la regarder comme un écran mais s'engager à ses côtes – ou à sa suite – sur cette route qui mène ailleurs. Si cette déambulation avait un terme- mais c'est un de ses caractères de n'en pas avoir nous découvrirons, sans surprise, que cet ailleurs nous attendait au plus profond de nous –mêmes, dans l'ombre de cet inconscient que toute architecture reflète. Cette duplicité de l'architecture ne s'exprime pas seulement dans l'écriture et le monde idéal, elle se manifeste d'abord dans la matérialité et l'édifice (Henri 2003).

Dans le but de donner une définition de l'architecture, nous nous engageons dans la première partie de ce chapitre, à donner une définition du mot 'architecture' formulée soit par des architectes célèbres ou recueillie dans des dictionnaires récents. La seconde partie du chapitre présentera l'architecture comme étant un système complexe décrit à partir du concept de système donné par Herbert Simon ; un environnement interne, un environnement externe relié par une interface. Le but est de présenter l'influence de l'environnement externe dans la définition de la forme architecturale et en particulier, l'influence des conditions climatiques sur l'élaboration du projet architecturale. Ces conditions, jouent un rôle primordial dans la définition de la forme architecturale et qui sont aussi, l'apport principale de notre recherche, où nous voudrions principalement, étudier l'influence des conditions climatiques des zones semi- arides (la ville de Biskra) sur la conception des établissements scolaires (les CEM de la ville de Biskra). Nous terminerons ce chapitre par la présentation de la genèse du forme ainsi que la conclusion.

I.2. DEFINITION DE L'ARCHITECTURE

Vitruve, au premier siècle avant notre ère, est l'auteur du seul ouvrage de l'antiquité consacré à la théorie de l'architecture qui nous soit parvenu. Dans ses Dix livres de l'Architecture (Vitruve 1995), il définit l'architecture comme une science qu'il constitue, en s'inspirant des grecs, pour plusieurs choses : le *Savoir*, l'*Ordonnance*, la *Disposition*, la *Proportion*, la *Bienséance* et la *Distribution*. Il s'appuie ensuite sur ces éléments pour établir une étude qui s'étend du choix de l'emplacement des édifices publics à la maçonnerie.

Malgré la grande richesse de l'ouvrage, il faudra attendre 1544 pour que Guillaume Philandrier (Palladio 1997) définisse le premier système formel en architecture. Il définit en effet l'ordre comme "succession d'éléments verticaux et horizontaux", posant ainsi les bases d'une vision plus normative de la conception architecturale et influença Vignole, Andrea Palladio, Léonard de Vinci et bien d'autres. En particulier, Andrea Palladio est l'auteur du dernier et probablement du plus complet traité d'architecture de la Renaissance (Palladio 1997). On y trouve une véritable grammaire de l'architecture de la Renaissance, son vocabulaire et sa syntaxe.

Depuis Palladio, de nombreux architectes ont proposé leur définition de l'architecture en la partitionnant. Philippe Boudon (Boudon 2003) remarque, à ce propos, la récurrence de la triade dans les nombreuses définitions de l'architecture. La figure I.1 qui lui est empruntée en cite les plus connues. Néanmoins, ces découpages sont issus de doctrines et non de théories.

Alberti	voluptas	firmitas	commoditas
Blondel	agrément	solidité	commodité
SHA	venustas	firmitas	utilitas
Guimard	sentiment	logique	harmonie
Nervi	forme	structure	fonction

Figure I.1. Classement des définitions de l'architecture selon Boudon. SHA : Société des Historiens de l'Architecture

Sans pour autant prétendre définir l'architecture, les dictionnaires d'architecture proposent d'en définir les termes, le vocabulaire. Néanmoins, la définition d'un mot nécessite souvent de l'expliquer en utilisant d'autres mots du même lexique. Cette démarche n'est donc plus tout à fait lexicale, mais devient aussi syntaxique. On peut ainsi dire que le fameux

ouvrage de Pérouse (Pérouse 2000) propose une grammaire de l'architecture. Cette grammaire n'est néanmoins pas formelle et ne saurait être transformée directement et complètement en règles.

Afin de définir le langage de l'architecture, Bruno Zevi (Zevi 1991) propose quant à lui une démarche résolument moderne visant à remettre en question les outils même de l'architecture : un langage alternatif de l'architecture mettant à jour les *invariants d'un code anticlassique*. Ainsi, ces invariants, remplaçant les invariants classiques (des grecs, de Vitruve, ... de l'académie), sont “sept invariants contre l'idolâtrie, les dogmes, les conventions, les phrases toutes faites, les lieux communs, les approximations humanistes et les phénomènes répressifs, sous quelque forme qu'ils se présentent, où qu'ils se cachent, qu'ils soient conscients ou inconscients”. Zevi propose un langage radical, offrant une nouvelle vision de l'architecture, délivrant des habitudes de pensée, un code de l'architecture moderne au but avoué : “au lieu de parler sans fin *sur* l'architecture, finalement on parlera architecture”.

On retrouve ici la pensée de Barthes sur le langage de la ville appliquée à l'architecture. Mais même s'il est important, chez Zevi, d'intégrer l'édifice à la ville (c'est d'ailleurs le septième invariant), sa pensée se limite principalement à l'architecture, à ses propres codes, ses matériaux, ses formes.

Il en est tout autrement pour la démarche d'Alexander (Alexander 1975, Alexander 1977, Alexander 1979). Celui-ci propose en effet ce qu'il appelle un *langage de motifs* (Pattern Language) comme support à une théorie (*The Timeless Way of Building*) de l'architecture, de la construction et de l'urbanisme. Il s'agit en fait d'un langage composé d'archétypes ou motifs représentatifs des éléments de notre environnement. Ce langage est en réalité une méthode de conception basée sur l'idée que, pour qu'une ville (il en est de même pour un bâtiment) fonctionne, elle doit être conçue par ses habitants qui doivent, pour pouvoir communiquer, établir un langage commun. Nous voyons ici, que cette théorie est véritablement une doctrine puisque support de la pratique plutôt que visant à la connaissance. Néanmoins, cette doctrine met bien en valeur le problème, central, du langage de la ville et la nécessité de le définir. Ce qu'il propose, en réalité, c'est d'exprimer sous la forme d'un langage, l'utopie de la ville idéale propre à l'urbaniste, à l'architecte, au décideur, qui utilise cette méthode. On est bien ici dans le subjectif.

Dans son livre, Hanrot (Hanrot 2002) et Après avoir présentées les différentes définitions de l'architecture formulées par des architectes célèbres selon une succession chronologique, démontre que la définition de l'architecture contient différents traits

polysémiques. Selon lui, l'architecture apparaît, aussi bien comme un art, un arrangement, un processus, qu'une science, ou encore comme une finalité d'un objet concret ou abstrait. A la fin de son analyse de la définition de l'architecture, Hanrot (Hanrot 2002) conclut qu'il ya trois acceptions principales du mot architecture.

- **Dans la première**, l'architecture est définie comme « un art, un processus, une pratique ». Dans laquelle l'architecte est un acteur déterminant. Celui-ci dispose en effet de la capacité d'architecturer, c'est-à-dire de concevoir et construire un objet qui n'existe pas encore ou de modifier un objet existant en lui donnant une architecture. Hanrot réfère cette première définition a plusieurs architectes, tels que : Vitruve, Boullée, Viollet-le-Du et enfin le Corbusier. En effet, Boullée par exemple distinguait deux parties dans l'architecture : une partie scientifique (l'art de bâtir) et une partie artistique (l'art de produire du caractère dans un édifice qui exige au préalable, selon lui, un travail de conception). Il déclare que *« Qu'est-ce que l'architecture ? La définirais-je avec Vitruve l'art de bâtir ? Non. Il y a dans cette définition une erreur grossière. Vitruve prend l'effet pour la cause. Il faut concevoir pour effectuer. Nos premiers pères n'ont construit leurs cabanes qu'après en avoir conçu l'image. C'est cette production de l'esprit, c'est cette création qui constitue l'architecture. »*

- **Dans la seconde** définition, largement utilisée aujourd'hui, Hanrot définit l'architecture comme étant une science ou une théorie. Il réfère cette deuxième définition, à quelques architectes célèbres tels que : Vitruve, Boullée, Viollet-le-Duc, Recltin, Fleming, Honou et enfin Pevsner. En effet, chez Vitruve par exemple, l'action et la connaissance sont fondatrices de l'architecture. Ainsi, page 19 (Vitruve, 1986, p19, cité dans hanrot, p.31), l'auteur rapproche les idées de pratique et de sciences en déclarant que *« L'architecture est une science qui doit être accompagnée d'une grande diversité d'études et de connaissances, par le moyen des quelles elle juge de tous les autres arts qui lui appartiennent. Cette science s'acquiert par la pratique et par la théorie : la pratique consiste dans une application continuelle à l'exécution des dessins que l'on s'est proposé, suivant lesquels la forme convenable est donnée à la matière dont se font toutes sortes que doivent avoir les choses que l'on veut fabriquer »*.

- **Dans la dernière** définition, l'architecture est définie comme un principe d'organisation, d'ordonnement, d'objets- ou de systèmes complexes.

Dans cette dernière définition, il ya une analogie entre architecture et système complexes. Il faut préciser cependant que cette analogie a déjà été soulevée par plusieurs auteurs, comme

Alexander (1964, 2001), Salingaros (2000) et Simon (1962). Dans ces visions, l'architecture est considérée comme un système complexe artificiel.

Penser complexe c'est, autrement dit, interroger les relations entre les objets et leurs contextes en vue d'en saisir le sens (Lecourtois 2010). Cette acception de la complexité se disjoint de l'approche essentialiste de la complexité que D. G. Emmerich pose en termes de composition (Emmerich 1966) *' Aussi riche ou compliqué que soit, en apparence, une composition, le fait qu'elle possède un grand nombre d'articulations en soi ne permet pas de l'appeler complexe, car il est nécessaire que la structure soit décomposable en parties caractéristiques de sa constitution, autrement dit en sous-ensembles. Et si la structure de ces sous-ensembles est à son tour décomposable en d'autres groupes caractéristiques et ainsi de suite, on peut alors parler d'une complexité de plusieurs '.*

D. G. Emmerich considère la complexité comme un tout susceptible de faire l'objet d'une décomposition en sous-parties identifiables. La "pensée complexe" portée par H. Simon, E. Morin et J.L. Le Moigne se pose, quant à elle, comme une approche épistémologique, heuristique et logique dont l'objet scientifique est le principe d'organisation de reliances participant de la composition. Emmerich définit la complexité par la décomposition, les auteurs de la pensée complexe l'interrogent en termes de reliances écartant, de fait, de leur réflexion, l'identification et la nature même des entités reliées.

En effet, Alexander par exemple, dans son livre « Notes on the synthesis of form » (Alexander 1964). Tente de construire une doctrine générale des formes. Il utilise la théorie des ensembles pour formaliser le processus d'édification des formes. Il présente le rapport entre forme et architecture en mettant l'accent sur la relation d'interdépendance entre la forme et son contexte, il aborde le problème de la conception en déclarant que tout problème de la conception débute par un effort pour parvenir à l'adaptation réciproque, à l'adéquation de deux entités. Le véritable objet de la discussion n'est pas la forme seule, mais l'ensemble comprenant la forme et son contexte. Il identifié et décompose les différentes variables d'inadaptation de la forme au contexte, selon une structure arborescente.

Dans son livre, Alexander utilise sans distinction les termes primitifs, vernaculaire et traditionnelle architecture. L'objectif d'Alexander est d'arriver à la formulation d'une méthode de design qui pourrait permettre d'atteindre l'harmonie entre la forme et le contexte. Il explique que cette harmonie résulte de l'adaptation graduelle du bâtiment à son environnement. Cette adaptation se produit sur une longue période, durant laquelle la forme est adaptée graduellement à son contexte par une série d'ajustement et de corrections.

I.3. LE SYSTEME DE L'ARCHITECTURE

Dans plusieurs travaux de recherches, comme par exemple (Arrouf 2006) et (Souami 2005). Certains auteurs décrivent le système de l'architecture comme étant un système complexe. Ce dernier est décrit à partir du concept de système donné par Herbert Simon ; un environnement interne, un environnement externe relié par une interface.

Souami (2005) considère que l'architecture ait un caractère temporel et complexe. Dans sa description du processus de conception, il considère qu'à partir du substrat de l'environnement externe de l'architecture, se développer l'instance de mise en place de la solution. Cette dernière se manifeste à travers une suite de confrontations entre les composants du programme, du contexte et du positionnement paradigmatique des concepteurs.

Selon lui, ces confrontations, sont fruit de conflits dits internes. Ils finissent par identifier l'instance de structuration qui se matérialise à travers la tentative des trois attracteurs du système primaire de l'architecture d'agrandir leur bassin d'attracteur et identifier ainsi les prégnances ou les finalités qui vont aller imprégner les différentes formes saillantes afin de donner forme au projet architectural. Cette formalisation ou plus explicitement cette matérialisation induit à une multiplication de morphogenèses entre les attracteurs du système primaire.

Ceci fait, le processus poursuit par une évaluation de la morphogenèse produite et ce par confrontation entre cette dernière et les finalités auxquelles doit répondre le projet tout en se référant à l'environnement externe de l'architecture. Ces confrontations identifiées les sous le nom de catastrophes généralisées peuvent en fonction des résultats et des interprétations selon les morphologies archétypales, soit remettre en cause les finalités du projet, soit remettre en cause la démarche de matérialisation, soit finalement permettre la finalisation de projet architectural.

A la fin de son explication du processus de conception, Souami (2005) considère que la production architecturale est constitué d'une multiplicité d'attracteurs inclus à l'intérieur du substrat architectural qui identifie une co-dimension fortement élevée et qui induit à la production de formes métaboliques et non statiques. Ces différents attracteurs s'affrontent selon des schémas de catastrophes généralisées, produisant des morphogenèses qui sont à la base des différentes mutations et évolutions qui permettent la matérialisation et la production de l'objet architectural.

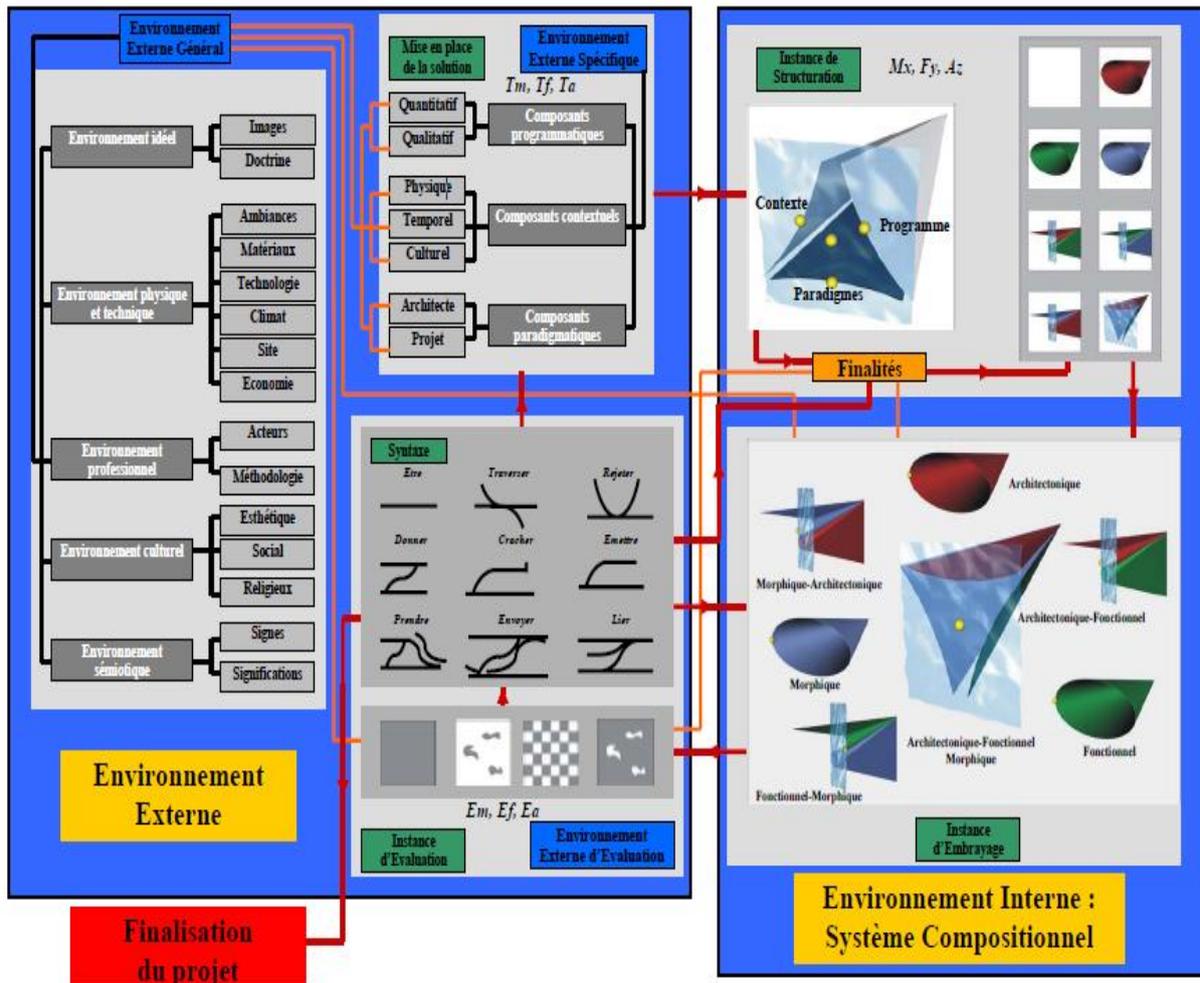


Figure I.2. Schéma représentant le processus de production architecturale (Souami 2005).

De ce fait, la détermination de la forme architecturale ne peut être étudié comme objet autonome, une forme est toujours liée à un environnement quoi que ce soit externe ou interne reliés par une interface.

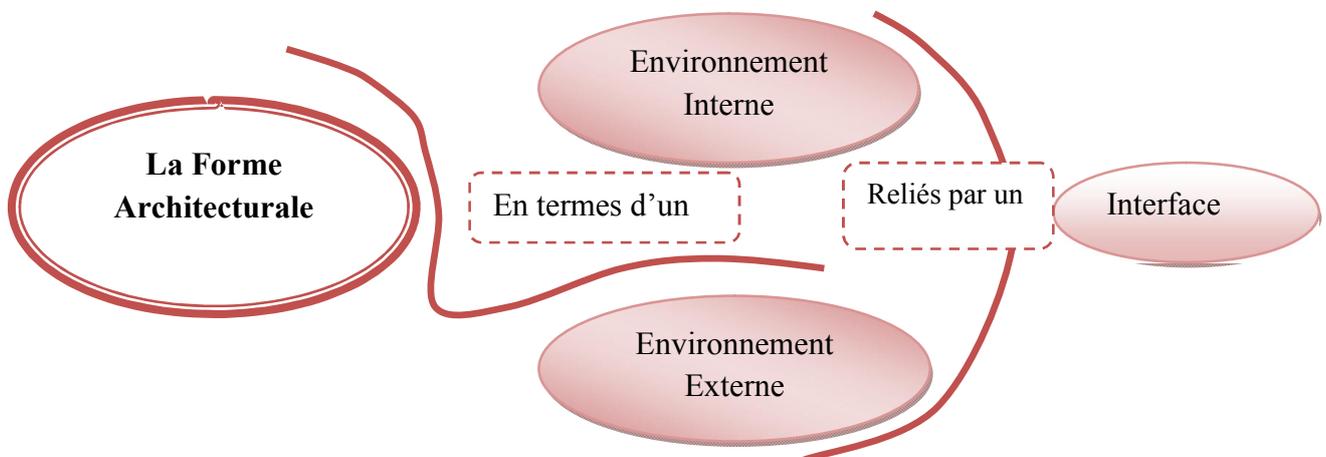


Figure I.3. Forme architecturale est ces environnements.

I.3.1. FORME ARCHITECTURALE ET ENVIRONNEMENT EXTERNE

L'environnement externe du système de l'architecture est constitué de tous ce qui informe la variabilité de l'architecture. Il contient l'environnement idéal, l'environnement physique, l'environnement technique, l'environnement professionnel, l'environnement culturel et enfin l'environnement sémiotique.

L'environnement externe détermine la forme architecturale. En effet, l'environnement technique et physique par exemple, composé de plusieurs paramètres tels que : le climat, le site, les matériaux, l'économie, la technologie...etc. conditionnent considérablement la forme architecturale.

Dans notre travail de recherche, nous nous intéressons en particulier à l'impact de l'environnement externe et plus précisément à l'influence du climat du site d'implantation sur la production de la forme architecturale. Pour cela, nous donnons plus d'importance a présenté les paramètres constituant l'environnement externe et en particuliers, ceux liés au climat.

I.3.1.1. LA FORME ET LE SITE D'IMPLANTATION

Dans une opération architecturale, les contraintes du site par exemple, se présentent comme des données qui sont prises en compte dans la synthèse de la forme. Comme exemple, le site de la casbah d'Alger a une ouverture sur la mer et un relief accidenté particulier, les maisons sont implémentées ici, en gradin avec une vue sur la mer, respectant ainsi, les vues et la topographie. Le site de la vallée du Mزاب est un autre exemple, où l'architecture de la ville reprend avec une parfaite harmonie, les contours de la colline dans laquelle elle s'insère.

Cette façon de penser l'acte architectural n'a pas toujours été partagée, en particulier par les architectes du mouvement moderne qui bâtissent pour un homme nouveau, en dehors de toute continuité sociale ou historique (Hoyet 2002). Les œuvres et les écrits de Le Corbusier, par exemple, attestent de ce parti pris. La prise en compte des données du site et du contexte dans l'acte architectural répond à une démarche fondatrice de toute architecture nouvelle, qu'elle prenne place dans la cité déjà établie, dans un quartier en devenir ou dans un environnement végétal. Les données du contexte peuvent être différentes mais l'approche reste identique (Hoyet2002).

I.3.1.2. LA FORME ET L'ENVIRONNEMENT PHYSIQUE

La prise en compte des données physiques du site, voire de l'environnement, fait référence à toutes les études techniques réalisées lors de l'élaboration d'un projet

d'architecture, constituées de paramètres exacts et mesurables. Il s'agit de prendre en compte le rôle des éléments fondamentaux liés au climat, à la nature de la roche du terrain d'assise, à l'eau de surface ou souterraine. La construction du bâtiment doit s'apprécier dans son interaction avec ces éléments. Ainsi, la conception doit prévoir l'effet de ces données, mais aussi anticiper la transformation de l'environnement provoquée par la nouvelle construction.

L'effet des données inhérentes au site va influencer sur la nature des ouvertures du bâtiment, en fonction de l'exposition et de l'ensoleillement. La qualité de la lumière est partie intégrante de l'architecture : des ouvertures au Nord répandront une lumière diffuse particulièrement appréciée des ateliers d'artiste, les fenêtres ouvertes sur le Sud et l'Ouest s'exposent au rayonnement solaire direct obligeant parfois la pose de brise-soleil. A l'inverse, le bâti pourra protéger l'habitation humaine des effets néfastes du climat, pour assurer une régulation thermique. La configuration du patio, cour intérieure protégée du fort ensoleillement, est caractéristique d'un dispositif né, notamment, d'une prise en compte du climat. Les faibles ouvertures des maisons en terre du désert participent du même objectif.

Ces quelques exemples montrent comment le dessin d'une façade, avec ses proportions de pleins et de vides, est toujours dépendant de l'ensoleillement ; ce paramètre peut devenir déterminant dans les conditions extrêmes. Il en est de même de l'effet des vents. Les pignons ouest des façades de la côte atlantique, aveugles et doublement étanchés contre la pluie, se protègent des vents marins. A l'inverse, les ouvertures des habitations tropicales sont ménagées pour capter la brise capable d'apporter de la fraîcheur. On comprend ainsi comment les notions d'ouverture, de porosité, de transparence en opposition à fermeture, étanchéité, opacité, sont convoquées par l'architecte aussi bien dans son propos conceptuel qu'en réponse à des contraintes physiques de l'extérieur.

La relation de l'architecture à son site peut se nommer de différentes façons. « L'intégration » dans le site met surtout l'accent sur un aspect de mimétisme. En effet l'objectif de l'intégration est celui d'une assimilation rapide ; les moyens les plus surs pour y parvenir sont ceux de l'emprunt ou de la reproduction. « L'inscription » fait, elle, référence à des concepts sémantiques, explorant la signification de l'ouvrage. Cet aspect de la démarche, très important, ne peut pas être unique ; il apparenterait l'acte architectural à l'acte artistique, oubliant alors les données sociales, environnementales, historiques, qui composent la complexité de l'architecture. C'est pourquoi, ici, le concept d'insertion, dont la définition serait : « qui place entre et parmi d'autres », s'avère le plus pertinent, acceptant ainsi la réalité d'avant et celle à venir.

I.3.1.3. L'INFLUENCE DU CLIMAT SUR LA FORME ARCHITECTURALE

L'acte architectural, c'est avant tout l'art de bâtir en associant au mieux l'homme et son environnement en s'appuyant sur une démarche cohérente (SALOMON 2000).

Bien analyser et prendre en compte le terrain, l'environnement proche et le micro-climat (soleil, vent, végétation). Avant même les premières esquisses, une analyse environnementale du site d'implantation du projet est indispensable. Il faut connaître le régime des vents dominants, repérer le relief et la végétation, déterminer si des constructions proches peuvent faire de l'ombre à certaines heures. On cherchera à offrir peu de prise aux vents froids, à privilégier les orientations les plus ensoleillées, et à bien capter lumière et soleil. Donc, pour une meilleure conception de l'enveloppe du bâtiment en se basant sur la notion du confort thermique de l'être humain, il est important de prendre en considération les caractéristiques climatiques de la région étudiée, ces derniers sont :

Le soleil

La conception architecturale permet à la fois de se protéger contre le soleil d'été et de profiter de l'ensoleillement hivernal pour le réchauffement et le stockage de la chaleur induite ce qui nécessite une réflexion particulière sur le mode d'implantation architecturale du bâtiment ainsi que sa compacité.

La température

Les variations de l'amplitude de la température diurne influent directement sur le comportement thermique du bâtiment ainsi que sur le niveau de confort acceptable par les occupants.

Le vent

Le vent crée des perturbations sur le bâtiment et sur l'urbanisation de chaque région. Il est donc nécessaire d'indiquer les variations de la vitesse, de l'orientation et du sens du vent ainsi que les types des perturbations qui en résulte.

Les perturbations

Elles créent un état d'instabilité du bâtiment soit au niveau de la qualité du confort thermique à l'intérieur du bâtiment, soit au niveau d'effet gênants l'enveloppe et son implantation dans le tissu urbain.

La pluie

C'est un paramètre climatique influent directement sur les propriétés thermo-physiques des matériaux de l'enveloppe du bâtiment. Pour cela, une réflexion particulière, sur les modes d'isolation et d'étanchéité, doit être portée à l'enveloppe. D'autre part, une attention assez particulière doit être, aussi, portée aux ressources naturelles en eau environnantes et ce, pour des applications de rafraîchissement et de refroidissement pendant la période estivale.

L'humidité

C'est un paramètre qui influe sur les propriétés thermo-physiques des matériaux de construction ainsi que sur le niveau de confort à l'intérieur du bâtiment.

Les caractéristiques climatiques du site d'implantation du projet influent considérablement sur les objets architecturaux. Tant pour définir les formes architecturales, orientations, vents, ensoleillement, que dans le choix des matériaux. Le rôle des caractéristiques climatiques dans le processus de génération des formes est retrouvé chez plusieurs auteurs comme Rapport (1972) et Banhan (1984). Il est important de mentionner ici, que dans leurs écrits, ces auteurs font références surtout aux exemples d'architecture vernaculaire.

I.3.1.4. LA FORME ARCHITECTURALE ET L'ECONOMIE

La notion d'économie de la construction est souvent abordée par les constructeurs privés mais aussi par les maîtres d'ouvrages publics en termes de coût financier d'investissement c'est-à-dire principalement en coût de construction. En effet, le projet architectural est l'expression du double rapport entre le programme des besoins et la qualité des espaces d'une part et d'autre part entre les moyens et la finalité de la mise en œuvre.

Une intelligence de projet permet de proposer des solutions architecturales. Ces solutions, basées essentiellement sur la manière de proposer des formes architecturales bien adaptées à l'environnement qui entoure la conception assurant un rendement maximal aux usages et aux ambiances (la simple attention à l'ensoleillement ou au paysage par exemple), ainsi que la mise en œuvre de matériaux (traditionnels et produits nouveaux) et de techniques de construction adaptées (produits composants, ingéniosité des principes et des détails constructifs...).

Le projet d'architecture est alors facteur de vraie économie, car rien n'est plus coûteux que des espaces inutiles ou inadaptés.

I.3.1.5. L'INFLUENCE DE L'ENVIRONNEMENT SOCIO-CULTUREL SUR LA FORME ARCHITECTURALE

L'environnement externe composé aussi d'un environnement culturel qui est représenté par les données, sociales, esthétiques, religieuses et historiques, influe sur la forme du projet architecturale. En effet, la décision d'implanter un nouveau bâtiment et le choix de son emplacement appartiennent au maître d'ouvrage. Toutefois, pour élaborer son projet, l'architecte étudie les aspects sociaux et urbains car l'insertion d'un bâtiment dans une portion de ville va transformer l'usage que les habitants ont du quartier. Une réflexion approfondie sur cette transformation, lors de la conception du projet, peut infléchir les pratiques à venir. Par exemple la construction d'un important édifice peut rendre inaccessible un vaste territoire enfermé dans ses limites ; si le projet, au contraire, prévoit des cheminements intérieurs publics, compatibles avec l'usage de l'équipement, les habitants auront une perception plus fluide du quartier.

Le bâti procède alors de formes dissociées, ouvertes. A l'inverse, l'architecte peut prévoir d'isoler d'une manière forte le bâtiment de son environnement immédiat dont les nuisances sont incompatibles avec l'usage intérieur. Il en est ainsi des bâtiments protégés par des murs quasiment opaques, faisant office de paroi anti-bruit le long d'une autoroute. Le concept architectural peut aussi autoriser une nouvelle appropriation de la ville. Le centre Georges-Pompidou, à Paris, en fournit un exemple remarquable. Les architectes Renzo Piano et Richard Rogers ont conçu un musée très compact, concentrant ainsi les surfaces d'activités requises sur une emprise minimale au sol. Cela leur a permis d'offrir à la ville une grande place dont le succès urbain n'est plus à démontrer. La compacité de l'équipement a été possible grâce à la conception particulière qui vise à rejeter tous les espaces et matériels de service à l'extérieur des plateaux d'exposition. Ainsi les escalators, ascenseurs et autres gaines d'aération disposées sur les deux façades principales ne représentent pas un jeu stylistique mais un propos architectural d'ensemble qui fait vivre l'équipement dans sa ville : un musée constitué de grands plateaux libres, capables d'adaptation, accompagné d'un parvis monumental. L'insertion de ce bâtiment, dont l'architecture dite de raffinerie fut si décriée lors de son édification, est symptomatique de la complexité de l'acte architectural capable de proposer une insertion réussie, faite d'une juste adéquation entre le programme du bâtiment et le lieu dans lequel il s'inscrit en ne jouant d'aucun mimétisme formel. La fréquentation du centre, la plus forte de tous les équipements parisiens, en témoigne.



Figure.I.4. Renzo Piano et Richard Rogers, centre Georges-Pompidou, Paris.

I.3.1.6. L'ENVIRONNEMENT HISTORIQUE ET LA FORME ARCHITECTURALE

Le site, quel qu'il soit, est autant caractérisé par son espace que l'empreinte de l'histoire présente dans chaque parcelle de territoire. Cet aspect de la problématique n'échappe pas à l'architecte qui, le plus souvent, initie la démarche de projet par une prise de connaissance de l'histoire du lieu, afin d'en saisir son identité ; certains parlent « d'esprit du lieu » (Hoyet 2002). La recherche d'anciens chemins, de proportions d'anciennes parcelles, ou d'habitudes séculaires attachées à l'endroit, apporte parfois à l'architecte le fondement de formes à venir. Ces indications sont utiles pour affirmer un axe de composition, ménager des passages, créer des ouvertures, affirmer des masses ou des vides. La Grande Arche du quartier de La Défense à Paris, conçue par Otto Sprekelsen affirme son appartenance au grand axe historique de Paris qui passe par le Louvre et les Champs-Élysées. L'emprunt à la forme des arcs de triomphe présents sur cet axe, et leur sublimation par un changement d'échelle monumental, apportent force à ce bâtiment devenu le cœur d'un quartier d'affaires disloqué. C'est en s'affirmant comme une partie intégrante de l'histoire urbaine de Paris qu'il y réussit.



Figure.I.5. Otto Spretkelsen, Grande Arche, Paris.

Le travail avec l'histoire du lieu peut se traduire aussi par une relation directe avec le bâti alentour. La médiathèque de Norman Foster à Nîmes illustre la façon dont un architecte peut saluer la présence d'un bâtiment patrimonial incontestable comme un théâtre romain. La médiathèque fait face à la colonnade du théâtre, parfaitement conservée. Le nouveau bâtiment, implanté à une distance respectable du monument, s'habille d'une légère colonnade d'acier peinte en blanc, aux proportions effilées. La réponse contemporaine à l'architecture romaine prend place dans la proportion d'ensemble du nouveau bâtiment, et dans le rythme des piliers qui portent l'auvent. La légèreté de l'ensemble, constitué de verre et de structures élancées, répond à la massivité harmonieuse des pierres romaines.



Figure.I.6. Norman Foster, Médiathèque et musée d'art contemporain, Nîmes.

I.3.2. L'ENVIRONNEMENT INTERNE DU SYSTEME DE L'ARCHITECTURE

A l'opposé de l'environnement externe, l'environnement interne du système de l'architecture, également appelé « système primaire de l'architecture », est constitué de « ce sans quoi l'architecture n'existerait pas ou ne pourrait pas exister » (Arrouf, 2006).

Le système primaire de l'architecture est « le système multi-variable de production et de fabrication multidimensionnelles de l'espace architectural. » (Arrouf, 2006). « Il n'a pas de désignation extrinsèque générale permanente, mais un ordre intrinsèque intelligible en termes de sous-systèmes de production morphique, fonctionnelle et architectonique » (Arrouf, 2006). Ces sous-systèmes de production sont reliés par un système compositionnel.

I.3.3. LE SYSTEME COMPOSITIONNEL

Il représente l'interface à la fois entre l'environnement interne et l'environnement externe du système de l'architecture, entre les sous-systèmes du système primaire de l'architecture (environnement interne du système de l'architecture) et entre les environnements internes et externes de chacun de ces sous-systèmes (Souami 2005).

Il est formalisable par la notion d'échelle dans son acception boudonienne. La composition entre les différents systèmes de production est une opération de mise à l'échelle, dans laquelle chacun des systèmes de production donne mesure aux deux autres.

Toutefois, ces relations d'échelles entre systèmes de production n'ont pas un caractère de nécessité, chacune peut exister ou pas. Elles relèvent en fait, du « lien possible et de la connexion non nécessaire ». La composition opérée par le système compositionnel tient du « jugement ». Elle est de l'ordre de « la décision ») et du « choix » (Arrouf, 2006).

I.3.3.1. DEFINITIONS DE L'ECHELLE

La grande majorité des travaux réalisés depuis les années 1970 ont traité de l'échelle, et ce, bien avant qu'elle ne soit identifiée comme un opérateur de la conception architecturale (Boudon, 1994). L'importance de l'échelle provient de ce qu'une grande partie du travail de l'architecte consiste à définir sans cesse les mesures de l'édifice projeté. Donner des mesures est, en ce sens, comme le dit l'auteur, une « fonction irréductible » de l'architecte (Boudon 1992). La question qui s'ensuit est évidemment : « Comment l'architecte donne-t-il des mesures à l'espace ? » Cette question appelle un large éventail de réponses. La hauteur d'une porte, par exemple, doit prendre en compte la hauteur d'un homme. Elle est donc conçue par référence à l'échelle humaine. Sa largeur qui diffère selon qu'il s'agit d'une porte de salle de bains ou d'une porte de chambre d'hôpital est conçue par référence à l'échelle fonctionnelle (la

porte de la chambre d'hôpital devant permettre le passage de lits médicaux, contrainte à laquelle n'est pas soumise la porte de la salle de bains). La hauteur du linteau de la porte répond quant à elle principalement à une logique constructive : elle est donc conçue par référence à l'échelle technique. La question du « Comment... » débouche, comme on voit, sur une recension des modalités selon lesquelles l'architecte attribue des mesures à un objet architectural.

Le concept d'échelle architecturologique, qui répond à ce souhait, est passible d'une écriture « radical + désinence ». Car, de même que l'on peut écrire le mot latin *doloris* : *dolor* (radical) + *-is* (génitif), l'échelle fonctionnelle peut être définie par : « pertinence de la mesure » (radical) + «selon les usages et les contraintes fonctionnelles » (désinence). Le radical de cette définition (Boudon 1992) souligne que la conception rentre dans le cadre des actions finalisées : la pertinence (économique, fonctionnelle, technique, etc.) constituant la visée téléologique de la mesure et le critère par lequel on juge si l'objet conçu répond ou non aux exigences initiales (ce qui n'implique d'ailleurs pas une adéquation mécanique entre les moyens et les fins, l'édifice rentrant dans la catégorie des « solutions sous-optimales »). Une vingtaine d'échelles ont été mises au jour pour rendre compte des facteurs qui dirigent l'attribution des mesures. On en trouvera un exposé dans Boudon (Boudon 1992). Il va sans dire que cette division des échelles architecturologiques est analytique, au sens où les parties d'un ouvrage d'architecture répondent souvent simultanément à plusieurs échelles (ceci expliquant le caractère sous-optimal des solutions architecturales). Les échelles se combinent donc entre elles par juxtaposition, surdétermination ou codétermination (Boudon et al 1994). Par exemple, les mesures de la porte évoquée plus haut obéissent au mode de la juxtaposition (échelle humaine pour la hauteur ; échelle fonctionnelle pour la largeur ; etc.)

Les définitions de l'échelle architecturologique sont généralement articulées à la mesure. En voici un échantillon : « Le choix de l'instrument de mesure dépendra d'une pertinence et c'est cette définition qui constituera pour nous l'unité théorique du terme échelle : la pertinence de la mesure, celle qui constitue par conséquent le noyau à partir duquel sera déployée la diversité des échelles particulières » (Boudon 1992). « Parmi la diversité de sens que le terme d'échelle peut recouvrir en dehors même du champ de l'architecture, D Raynaud a choisi de s'en tenir à une définition de l'échelle entendue comme "pertinence de la mesure" » (Raynaud 1992). Il semble cependant que l'usage du mot échelle renvoie parfois à des phénomènes qui, pour n'être pas indépendants de la mesure, n'en font plus une référence centrale. Les exemples des échelles architecturologiques donnés par Boudon (Boudon et al 1994) sont exemplaires à ce titre, puisqu'on y trouve, à côté d'échelles agissant explicitement

sur la mesure de l'édifice, des échelles — échelle de visibilité, de modèle, d'extension, économique, etc. — qui supposent une opération prioritaire ou conjointe sur de la non-mesure. Cette polysémie, qui va donc au-delà de celle que l'on trouve dans les définitions de base, suggère que l'architecturologie a perçu l'existence d'opérations qu'elle n'a pas jugé utile de définir avec précision.

I.4. LA GENESE DE LA FORME

La genèse de la forme résulte d'opérations successives de transformation de formes, fondées sur des objectifs sémantiques et guidées par des figurations imagées. Le concepteur passe ainsi de formes sources empruntées à des domaines divers (géométrie, nature, mécanique...) à des formes cibles capables d'accueillir le programme du maître d'ouvrage. Ce cheminement se fait par des allers et retours nombreux et des variations importantes entre différents états de la forme qui en font un processus itératif et paramétrique. (Jean-Paul W, Belblidia S et Jean-Claude B, 2006)

I.5. DIFFERENTES APPROCHES SUR LA FORME

I.5.1. LA FORME ET LE CONTEXTE

La forme et surtout son rapport avec la conception architecturale a toujours fait l'objet de recherches et delà émergent diverses approches de domaine. En partant du formalisme, du fonctionnalisme, l'approche un peu contradictoire qui refuse parfois l'autonomie de la forme, nous arrivons à une définition particulière chez Christopher Alexander (1979), basée sur le rapport entre la forme et son contexte.

Dans son essai, *de la synthèse de la forme*, la forme est définie en tant qu'éléments participants dans un ensemble dit forme-contexte, où chacun des deux cherche à répondre aux exigences de l'autre. La situation désirée est basée sur un ordre spécifique de cet ensemble, ce qui aboutit à une adaptation.

La pertinence d'une forme est définie par son adaptation au reste de l'ensemble (contexte) et une bonne adaptation est celle qui mène à la satisfaction mutuelle de ces éléments. Autrement dit la forme est le résultat d'une relation réciproque entre elle même et son contexte.

I.5.2. LA FORME ET L'ESPACE

Un autre point de vue nous est offert par les travaux de Francis D.K. Ching (Ching 1996) essayant à décrire les éléments principaux de la forme. Le principe de cette approche est basé sur le rapport entre la forme et l'espace, où la forme prend un rôle dans la définition et l'organisation de l'espace.

Dans ses travaux la forme (et aussi l'espace), se définit en tant qu'un moyen à travers lequel, l'architecte arrive à répondre aux certaines conditions de fonction et de contexte (comprenant les aspects culturels, sociaux, politiques et économiques). En plus c'est par l'arrangement de ces formes et l'organisation de l'espace, qu'il communique une sémantique.

Les éléments primaires de la forme sont définis par le point, la ligne, le plan, et le volume, et chacun a le potentiel de se transformer en l'élément suivant. Le point a une position dans l'espace, et en se prolongeant peut se transformer en une ligne (un élément unidimensionnel) qui en prenant une longueur, est capable de représenter une direction. La ligne se transforme en un plan bidimensionnel, qui a comme propriété une longueur et une largeur, et qui représente une surface avec une orientation spécifique. Et enfin le plan se transforme en un volume qui possède une profondeur grâce à sa troisième dimension.

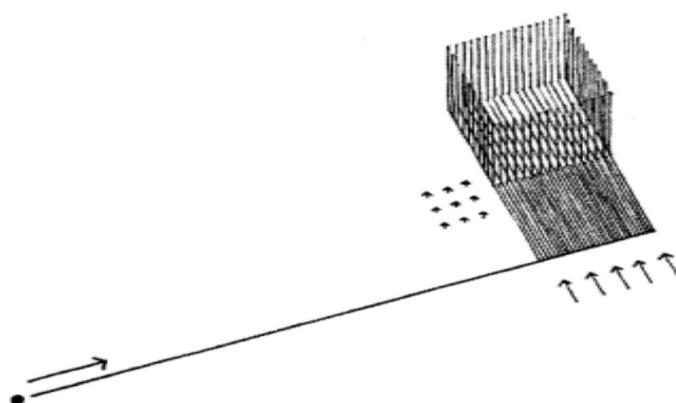


Figure I.7. Les éléments primaires de la forme. Source : SHADKHOUS (2007)

Une forme constituée de l'ensemble de ces éléments se caractérise par sa substance, sa taille, sa couleur, sa figure (rectangle, cercle, triangle, ...), sa position et sa texture. Elle peut être ainsi le résultat de la transformation de solides primaires (le cube, la sphère, le cylindre,...), par le changement de dimension, par l'addition ou la soustraction d'éléments.

Cette transformation s'appelle transformation dimensionnelle quand une (ou plusieurs) des dimensions d'une forme est modifiées, soit par le changement de longueur, de largeur, ou

de profondeur, soit par l'étirement ou la compression d'un des éléments de la forme. En plus une telle transformation formelle peut être réalisée par la soustraction d'une portion du volume de la forme, ou par l'addition (ou l'attachement) des éléments à ce volume.

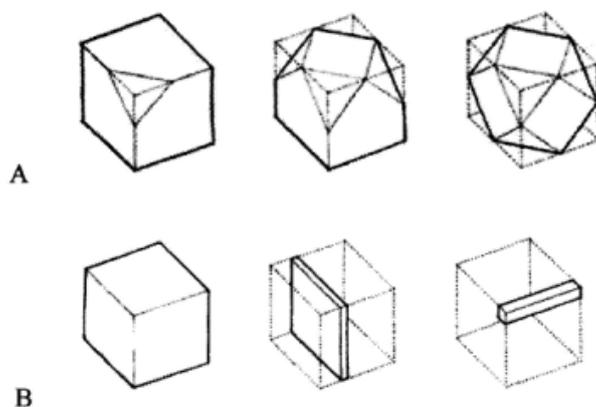


Figure I.8. La transformation par soustraction et d'élément (A) et la transformation dimensionnelle (B). Source : Shadkhou S (2007)

Selon lui le rapport entre la forme et l'espace se résume à la définition et l'organisation de l'espace par la forme. Elle le moule, l'entoure, et l'enferme par ses éléments horizontaux et verticaux et par conséquent elle arrive à définir un solitaire champ de l'espace". Un ensemble d'espaces reliés entre eux par un rapport concernant la fonction, la circulation, ou le voisinage, décrit la notion de l'organisation de l'espace ce qui révèle les différents types de relation entre les espaces ; un espace à l'intérieur d'un autre, les espaces enclenchés, les espaces adjacents, les espaces liés par un espace commun. Une telle organisation spatiale peut elle même prendre différentes formes ; centralisée, linéaire, radiale, en forme d'un groupe (un assemblage des), en forme d'une grille. (Shaghayegh Shadkhou.2007)

I.5.3. LA FORME ET LE SCHEME

La recherche intéressante de Dominique Raynaud (Raynaud 1998) sur la genèse de la forme architecturale, est basée sur le lien entre la forme architecturale et la forme symbolique qui lui est attachée.

Une telle étude de la forme est fondées dans deux champs différents, l'un concernant les images génératrices du projet, et l'autre qui vise à caractériser l'imagination architecturale. Raynaud s'est plutôt intéressé au deuxième champ, prend comme principe que l'imaginaire architecturale est activée par les symboles architecturaux. Delà il essaye d'établir une association entre les formes architecturales, et les formes symboliques.

L'essence d'une telle association réside dans une similitude sémantique entre ces deux groupes de formes. Il la définit en empruntant (à Kant), le terme de schème, en tant qu'un élément de jonction. Pour Kant, le schème est « un produit et en quelque sorte un *monogramme* de l'imagination pure a priori au moyen duquel et suivant lequel les images sont tout d'abord possible » (Raynaud 1998). En principe le schème est considéré comme un génotype à travers duquel ils émergent diverses images symboliques. Il devient ainsi l'élément de la transition d'une sémantique.

Considérant un ensemble constitué de trois éléments ; la forme architecturale, la forme symbolique et le schéma, il continue son travail dans le but de révéler les schèmes associant ces deux types de formes. Pour ce faire, il définit trois types de schèmes ; les schèmes divergents, avergents, et convergents, exprimés sous forme des verbes d'action comme monter, sortir, descendre,...

Les schèmes divergents « qui manifestent un mouvement centrifuge, qui produisent un écartement, une séparation ou une dissociation» (Raynaud 1998), sont: monter, rayonner, ouvrir, commencer, séparer, clôturer, sortir et grandir.

Un schème convergent suggérant un rapprochement, une réunion, ou l'orientation vers l'intérieur, est communiqué par les termes suivants : contenir, couvrir, descendre, unir, lier, diminuer, finir, entrer.

Les schémas avergents expriment un mouvement qui n'est ni divergent, ni convergent. Ils ne sont ni centrifuges, ni centripètes. (Raynaud 1998) tourner, passer, onduler, être, répéter, entourer, croiser, battre, font partie de ce groupe.

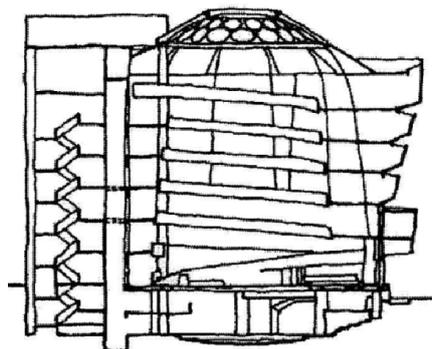


Figure I.9. Le schème convergent « Descendre ». Le Guggenheim Museum de New York, Frank Loyd Wright (1959).

I.6. CONCLUSION

Il ressort de ce chapitre que les différentes approches du concept de forme en architecture, essayent de comprendre la forme en la mettant en relation avec son environnement externe, faisant référence à chaque fois, à des facteurs extrinsèques. On ne peut pas nier, que les traces de l'environnement peuvent exister dans les formes.

La définition de la forme architecturale doit être détachée, non seulement des doctrines et des configurations particulières des pratiques sociales et culturelles de l'espace, mais aussi des perceptions visuelles et des réceptions esthétiques. Il faut éviter toute description de la forme en rapport avec les facteurs temporels, culturels et spatiaux, car l'environnement de la forme est à chaque fois dépendant d'un contexte particulier, reflétant une réalité culturelle particulière en un temps et un espace donnés.

Donc, toute information et compréhension objective de la forme doit se détacher de sa mise en rapport avec la multitude des époques, des cultures et des doctrines. Il nous faut détacher la forme du contexte dans lequel elle se trouve, et se détacher aussi d'une aperception doctrinale, partisane ou intellectuelle.

En fait, la connaissance de la forme à travers les facteurs extrinsèques peut s'avérer utile pour les problématiques des sociologues, historiens, archéologues ou ethnologues, mais pour nous les architectes, elle reste insuffisante. La raison est qu'elle néglige la connaissance morphologique.

Notre objectif est d'arriver à une identification opératoire et à une étude objective de la forme. Connaître la forme en soi, en tant qu'être autonome, comme une réalité, possédant des propriétés spécifiques et la définir par ses régularités intrinsèques, par sa structure et par des faits objectivables.

Il est donc important que nous puissions nous détacher de la compréhension de la forme fondée sur des attitudes doctrinales ou idéologiques, car celles-ci renferment des confusions dogmatiques et des ambiguïtés théoriques, que nous avons tenté de démontrer tout au long de ce chapitre.

CHAPITRE II

FORME ARCHITECTURALE

&

PERFORMANCES ENERGETIQUES

II.1. INTRODUCTION

Dans le travail de la conception architecturale, l'architecte doit proposer une forme architecturale adaptée à son environnement. Il doit rechercher une adéquation entre la conception et la construction de l'enveloppe habitée, le climat et l'environnement dans lequel l'habitat s'implante et les modes et rythmes de vie des habitants. Sous les climats tempérés, cette recherche d'équilibre s'exprime par deux grands principes : En période froide il faut favoriser les apports de chaleur gratuite et diminuer les pertes thermiques tout en permettant un renouvellement suffisant de l'air alors qu'en période chaude, il faut diminuer les apports caloriques et favoriser le rafraîchissement.

Pour arriver à cet équilibre, l'architecte travaille sur l'emplacement de la maison, son orientation, les volumes, les parois, les matériaux, les ouvertures....etc. Mais surtout, sur la forme de la conception qui doit être adéquate avec l'environnement entourant, offrant ainsi, des meilleures performances énergétiques.

Dans ce chapitre, nous présentons dans un premier temps les éléments du climat où nous exposerons quelques définitions issues de la littérature, utiles et nécessaire à la compréhension des chapitres qui vont être présentés ultérieurement. Dans un second temps, nous présentons les types des climats existants ainsi que leurs caractéristiques, en particulier le climat sec et chaud, où nous proposons quelques stratégies conceptuelle et technique de régulation thermique, dans le but est d'améliorer le confort dans ce type de climat.

II.2. LES ELEMENTS DU CLIMAT

On peut distinguer un ensemble d'éléments, et de facteurs climatiques rapportés en catégories (RAYNAUD, 1984) :

- Facteurs énergétiques : rayonnement, lumière, et température.
- Facteurs hydrologiques : précipitation, et hygrométrie.
- Facteurs mécaniques : vents, et enneigements.

Dans le paragraphe ci-dessous, on passera à la présentation de l'ensemble d'élément constituant le climat :

II.2.1. FACTEURS ENERGETIQUES

II.2.1.1. L'ENERGIE SOLAIRE

II.2.1.1.1. L'ensoleillement

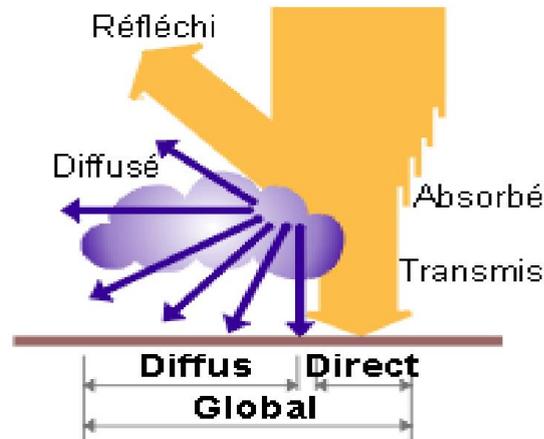


Figure. II.1. Bilan radiatif terrestre
Source : Liébard A, 2002, p26

Le soleil est la seule grande source d'énergie thermique régissant le système climatique de la Terre. Comme la surface de la Terre est courbe, la quantité de rayonnement solaire incident n'est pas la même partout, les tropiques recevant le plus de chaleur et les régions polaires le moins. C'est cette différence de température entre les tropiques et les pôles qui induit les vents et les courants, lesquels redistribuent la chaleur et l'humidité autour de la planète. Si la quantité d'énergie émise par le soleil est constante, celle qui atteint le sol est variable, en fonction de divers paramètres. Le rayonnement solaire est le moteur thermique réchauffant la surface terrestre. Avant d'atteindre la terre, le rayonnement solaire doit traverser une masse gazeuse d'environ 8 kilomètres d'atmosphère. Ce parcours va se traduire par une diminution sensible du flux énergétique, due à des phénomènes de diffusion, diffraction, absorption et réfraction. La terre reçoit la radiation solaire, qui se compose de la radiation directe (celle qui provient directement du soleil), la radiation diffusées par les nuages (radiation diffuse) puis la radiation réfléchies quand elles rencontrent les objets donc le rayonnement total arrivant sur une surface peut se diviser en trois composants $I = I_{Dir} + I_{dif} + I_r$. L'importance du rayonnement solaire reçu à la surface du sol dépend de la spécificité de chaque région latitude du lieu, le relief (montagnes, vallées, rivières, etc.).

Le soleil joue un rôle considérable dans la conception architecturale. Le mur de l'architecture classique, par ses détails, saillies, retraits, cimaises, larmiers, rejette la goutte d'eau et accroche l'ombre et la lumière, marquant dans la façade les positions de l'astre solaire.

II.2.1.1.2. Course du soleil

La représentation sphérique apparaît comme la plus commode pour déterminer la position du soleil dans le ciel. Celle-ci est repérée par deux angles fondamentaux, la hauteur et l'*azimut* (figure II.2) qui s'expriment à partir de la déclinaison δ .

La déclinaison du soleil δ est l'angle que fait, la direction du soleil avec le plan équatorial de la terre. (A. Khedim, 2005). Elle varie de $-23^{\circ}27'$ au solstice d'hiver à $+23^{\circ}27'$ au solstice d'été et elle est nulle aux équinoxes. (J.M.Chasser, 1984). Cette déclinaison est exprimée par la relation suivante :

$$\delta = 23,27 \sin [(j+284) 360/365]$$

Où :

j : est le jour de l'année compté à partir du 1^{er} Janvier, de l'angle horaire ω avec $\omega=15(12-t)$

t : est l'heure de la journée déterminé par la position du soleil dans le ciel du lieu, et de la latitude (*lat*).

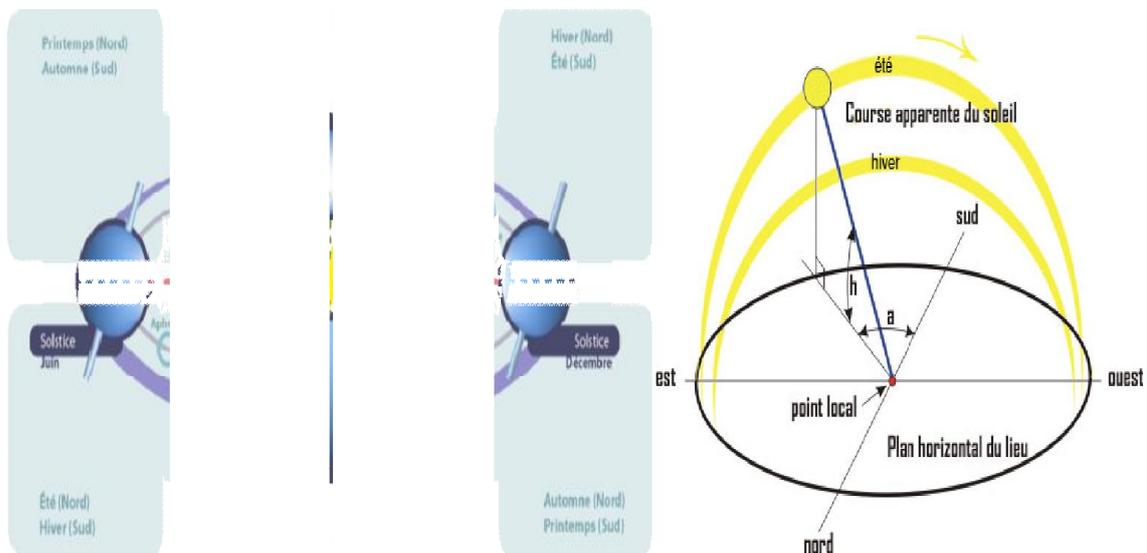


Figure II.2. Course du soleil. Source : JEAN P, LOIC H, et all, 2007.

- *Latitude :*

La latitude d'un point se définit par sa distance angulaire à l'équateur, mesurée en degrés par l'arc du méridien terrestre. La latitude prend donc la valeur 0 à l'équateur.

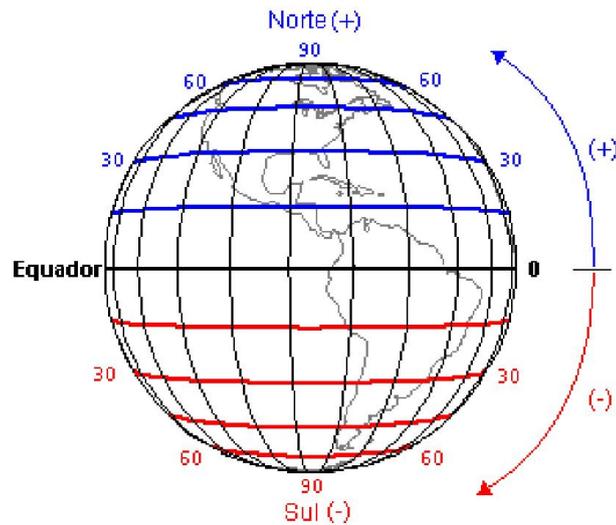


Figure II. 3. Latitude du soleil. Source : JEAN P, LOIC H, et all, 2007.

- *Hauteur du soleil :*

La valeur de la hauteur du soleil (h) est donnée par la formule : $h = \delta + (90 - lat)$.

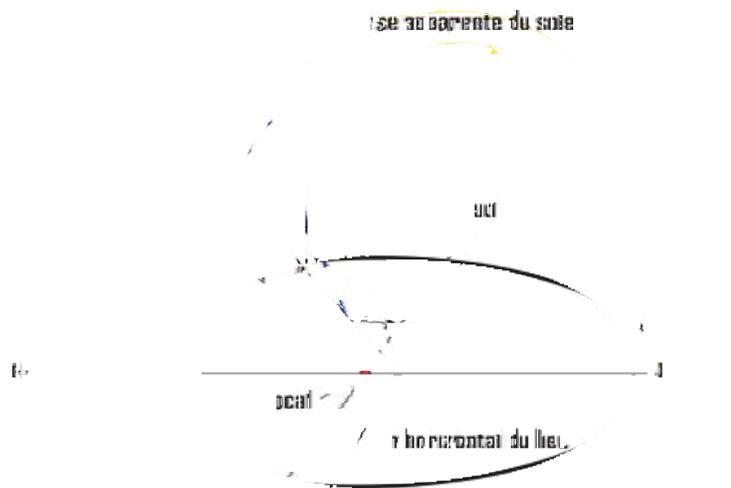


Figure II.4. Hauteur du soleil Source : JEAN P, LOIC H, et all, 2007.

- *Azimut :*

L'azimut du soleil est l'angle formé par le plan vertical du soleil et le plan méridien du lieu.

Noté Az , il est donné par la relation : $\sin(Az) = \cos(\delta) * \sin \omega / \cos(h)$,

où :

h est la hauteur du soleil, δ est la déclinaison et enfin ω est l'angle horaire, exprimé en degrés.

L'azimut du soleil au sommet de sa trajectoire apparente est égale à 0° . Cette position correspond au midi solaire.



Figure II.5. Azimut du soleil. Source : Francis Domain - INES Education - Savoie Technolac - BP258 - F73375 Le Bourget du Lac -Novembre 2007.

II.2.1.1.3. Diagramme solaire

Le diagramme solaire est un outil de représentation graphique de la course du soleil dans le ciel, qui pourra également être utilisé pour évaluer l'ensoleillement reçu par une surface, ainsi que l'effet des masques. Le repérage de la position du soleil à chaque instant s'effectuant au moyen de la hauteur, de l'angle verticale, de l'azimut et enfin de l'angle horizontale. Deux familles de diagrammes sont utilisées par les concepteurs pour représenter en un site donné les trajectoires du soleil :

- les projections cylindriques sur un plan vertical (système de coordonnées cartésiennes) (figure II.6)
- les projections sphériques sur un plan horizontal, axées sur le zénith. (Figure II.7)

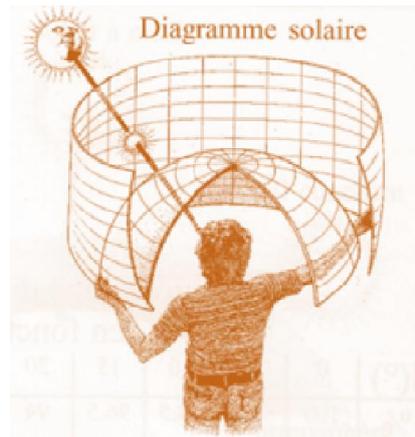


Figure II.6. Diagramme solaire. Source : JEAN P, LOIC H, et all, 2007.

- *Utilisation d'une projection sphérique équidistance :*

La figure II.7 représente un diagramme solaire en projection sphérique zénithale équidistante. Si le nord est positionné en haut de la feuille et l'est à droite, ce diagramme se rapproche d'une carte ou d'un plan de bâtiment classique, ce qui facilite son maniement en relation avec l'enveloppe du bâtiment.

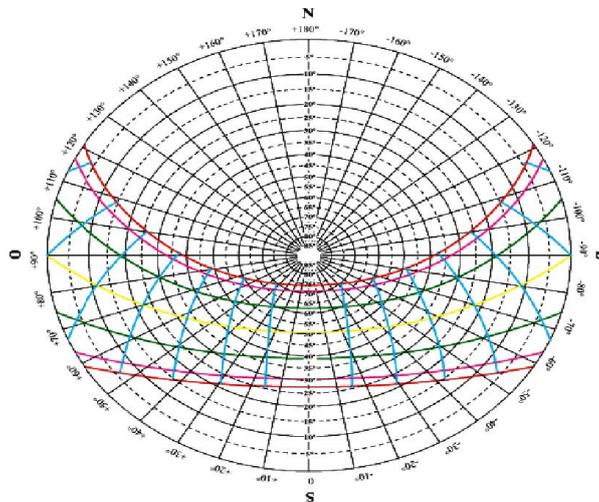


Figure II.7. Diagramme solaire établi pour la ville de Cagliari. Source : www.energieplus-lesite.be/energieplus.

Le zénith est au centre (pour $h=90^\circ$), l'horizon sur la circonférence ($h=0^\circ$). Une série de cercles concentriques intermédiaires, équidistants et gradués de 10° , représentent les iso-hauteurs ou angles verticaux. Les demi-droites ayant pour origine le point d'observation représentent les azimutes, angles horizontaux mesurés à partir de la direction du sud par les deux angles ainsi représentés. Hauteur et azimut en repéré la course journalière du soleil pour

les douze mois de la saison. Les positions horaires du soleil y sont précisées indiquant la durée du jour.

II.2.1.1.4. Le rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est le déplacement de l'énergie sous forme de radiations solaire, transmettant de la chaleur sous forme d'ondes électromagnétiques constituant le spectre solaire.

En traversant l'atmosphère, le rayonnement solaire subit une diminution d'intensité par absorption, réflexion, et la diffusion (Givoni. 1978). Ainsi l'ensemble de la radiation solaire estimé à 1.4 Kw/m² (communément appelé constante solaire) subit l'action suivante (Baker 1987) :

- 32% des radiations sont réexpédiées vers l'espace par réflexion lumineuse.
- 15% des radiations sont absorbées par l'atmosphère.
- 53% des radiations sont reçues par la surface de la terre, dont 47% sont absorbées par le sol, et 6% réfléchies.

II.2.1.1.5. Types de rayonnement solaire

➤ *Rayonnement direct :*

Rayonnement solaire est dit direct, quant il ne subit pas de déviations importantes dans sa cours à travers l'atmosphère. C'est le cas d'un ciel clair et dégagé de nuage.

➤ *Rayonnement diffus :*

On entend par là, le rayonnement qui, lors de son parcours, est dévié dans toutes les directions par des obstacles tels que : nuages, brouillard, molécules d'air, vapeur d'eau, ainsi que des aérosols.

➤ *Rayonnement global :*

Le rayonnement solaire parvient au sol soit directement (rayonnement direct), soit après diffusion par la voûte céleste et les nuages (rayonnement diffus).

Le rayonnement global est la somme de ces deux rayonnements, reçue sur une surface.

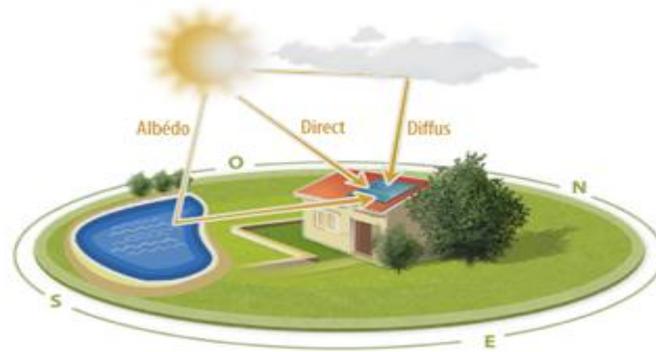


Figure.II.8. Le rayonnement global. Source : www.sigma-tec.fr/textes/texte_parametres_installation.html.

II.2.1.1.6. Les appareils de mesure du rayonnement solaire

Il existe plusieurs types d'appareils, utilisés pour mesurer le rayonnement, ces derniers sont :

- ✓ *Le pyrromètre* : Appareil permettant de mesurer la totalité du rayonnement arrivant sur la terre, y compris le rayonnement *infrarouge de grande longueur d'onde* émis par l'atmosphère et le sol. Il couvre donc des longueurs d'onde relativement importante

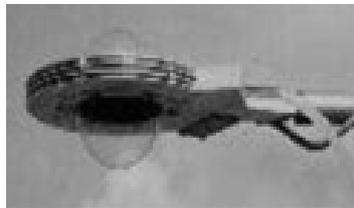


Figure II.9. Le pyrromètre. Source : Le gisement solaire, CNFPT – 21-23 février 2007 ;
Noémie Poize – Rhônalénergie-Environnement

- ✓ *Les pyranomètres d'Eppley* : Il permet de mesurer un rayonnement de tout un hémisphère, dans une longueur d'onde allant de 0.3 à 3 μm . Il ne capte donc pas les rayonnements infrarouges de grandes longueurs d'onde (dépassant 3 μm) qui sont notamment émis par l'atmosphère et le sol. (BERRICHON Jean-Damien).



Figure II.10. Le pyranomètre d'Eppley. Source : Le gisement solaire, CNFPT – 21-23 février 2007 ; Noémie Poize – Rhônalénergie-Environnement.

II.2.1.2. LUMIERE DU JOUR

« La qualité intérieure d'un espace dépend de la quantité d'espace extérieur qui entre par le truchement de la lumière et de la transparence. » Franck Lloyd Wright

L'éclairage des lieux de travail ou d'études, par exemples, est un facteur environnemental essentiel pour assurer au personnel des conditions de travail adaptées à la tâche qu'ils ont à effectuer ou facilité la tache d'enseignement. Il doit :

- faciliter l'exécution d'une tâche quelconque,
- assurer le bien-être

II.2.1.2.1. Définitions de base

Dans le but de se familiarisé avec quelques notions liées à la photométrie (la science de la mesure des intensités lumineuses) tels que : le flux lumineux, l'intensité lumineuse, luminance, l'éclairement lumineux et enfin le contraste. Nous présentons dans le tableau ci-dessous (tableau II.1) quelques définitions de ces notions:

Termes	Définitions	Symboles	Unités
<i>Flux lumineux</i>	La quantité d'énergie émise par une source sous forme de rayonnement visible dans toutes les directions par unité de temps.	F	Lumen (lm)
<i>Intensité lumineuse</i>	Mesure de l'importance du flux lumineux émis dans une direction donnée par une source ponctuelle.	I	Candela (cd)
<i>Luminance</i>	Mesure de l'aspect lumineux d'une surface éclairée ou d'une source, dans une direction donnée et dont dépend la sensation visuelle de luminosité. L'appareil de mesure : luminancemètre. 	L	cd / m ²

<p><i>Eclairage lumineux</i></p>	<p>La quantité de lumière reçue sur une surface d'un mètre carré. L'appareil de mesure : luxmètre.</p> 	<p>E</p>	<p>Lux (lx), 1 Lux = 1 Lumen / m²</p>
<p><i>Contraste</i></p>		<p>Appréciation subjective de la différence d'apparence entre deux parties du champ visuel vues simultanément ou successivement. Il peut s'agir d'un contraste de couleur, d'un contraste de luminance.</p>	

D'autres termes fréquemment utilisés dans ce domaine, qui sont :

- *Facteurs de réflexion d'une surface* : rapport du flux lumineux réfléchi au flux incident.

Ce facteur précise l'aptitude d'une surface à réfléchir la lumière incidente.

- *Plan utile ou plan de travail* : c'est la surface de référence constituée par un plan sur lequel s'effectue normalement le travail. (GHURBURRUN R, 2005)

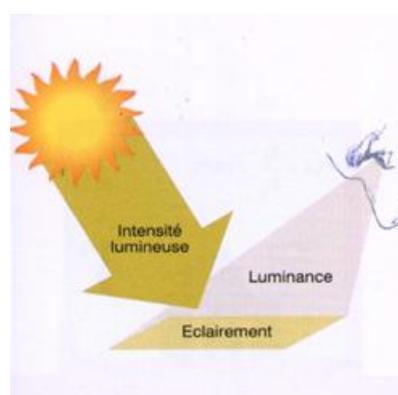


Figure II.11. Composantes de la lumière naturelle. Source : Ghurburrun Reena, Setta Faïza, Toulze Benjamin, (2005), l'éclairage des locaux de travail.

-*Eblouissement* : L'éblouissement peut être :

- *Direct*, quand la source lumineuse est dans le champ visuel ; s'il s'agit d'une source naturelle, le poste de travail doit être protégé du rayonnement solaire gênant.
- *Indirect*, lorsque l'éclairage est réfléchi sur des objets, des surfaces et le plan de travail.

Afin d'éviter cette gêne, provoqué par l'éblouissement, il est recommandé d'utiliser des surfaces mates ou des éclairages diffus à l'endroit de la tâche visuelle et même au niveau des sols et des plafonds.

II.2.1.2.2. Les conditions de ciel

Les nuages réduisent de façon significative l'éclairage. Par exemple, en été, le ciel est serein, l'éclairage horizontal au niveau de la mer peut atteindre les 100 000 lx. Par contre en hiver, caractérisé par un ciel couvert, l'éclairage horizontal extérieur est inférieur à 5000 lx.

II.2.1.2.3. Les modèles de ciel standard:

✓ *Le ciel uniforme* :

Cette situation correspond à un ciel couvert d'une couche épaisse de nuages laiteux où le soleil n'est pas visible. Sa luminance est donc constante en tout point du ciel à un moment donné.



Figure II.12. Ciel uniforme. Source: Aurore BONNET, Éclairage naturel L5C – 2009/2010.

Ecole d'architecture de Grenoble.

✓ *Le ciel couvert :*

Le ciel couvert, dit aussi ciel CIE (modèle établi par la Commission Internationale de l'Éclairage), correspond à un ciel de nuages clairs qui cachent le soleil.

La luminance au zénith est 3 fois plus élevée que la luminance de l'horizon.



Figure II.13. Ciel couvert. Source: Aurore BONNET, Éclairage naturel L5C – 2009/2010. Ecole d'architecture de Grenoble.

✓ *Le ciel clair :*

Le modèle du ciel clair représente la variation de la luminance en fonction de l'orientation et de la position du soleil, mais n'intègre pas le rayonnement solaire direct.

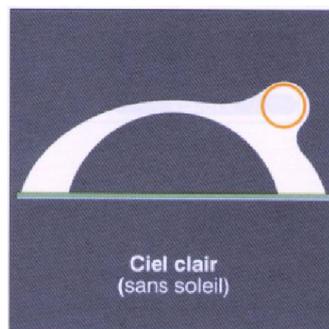


Figure II.14. Ciel clair. Source: Aurore BONNET, Éclairage naturel L5C – 2009/2010. Ecole d'architecture de Grenoble.

✓ *Le ciel clair avec soleil :*

Le ciel clair avec soleil prend en compte son rayonnement global, c'est-à-dire la somme des rayonnements directs et diffus.

Ce quatrième type de ciel correspond à un ciel serein dans lequel le soleil brille.



Figure II.15. Ciel clair avec soleil. Source: Aurore BONNET, Éclairage naturel L5C – 2009/2010. Ecole d’architecture de Grenoble.

II.2.1.2.4. Le facteur de lumière du jour (FLJ)

Comme la quantité de lumière naturelle peut varier de façon importante, on introduit un rapport de proportionnalité entre l’éclairement extérieur et celui disponible à l’intérieur du local. C’est ce qu’on appelle le **facteur de lumière du jour** (FLJ) et il se calcule ainsi :

$$FLJ = (E_{int} / E_{ext}) \times 100 \quad (\text{Daniel, Jean.P, Loïc. H, et All. 2007})$$

où :

E_{int} = niveau d’éclairement horizontal à l’intérieur du local.

E_{ext} = niveau d’éclairement horizontal extérieur en site dégagé.

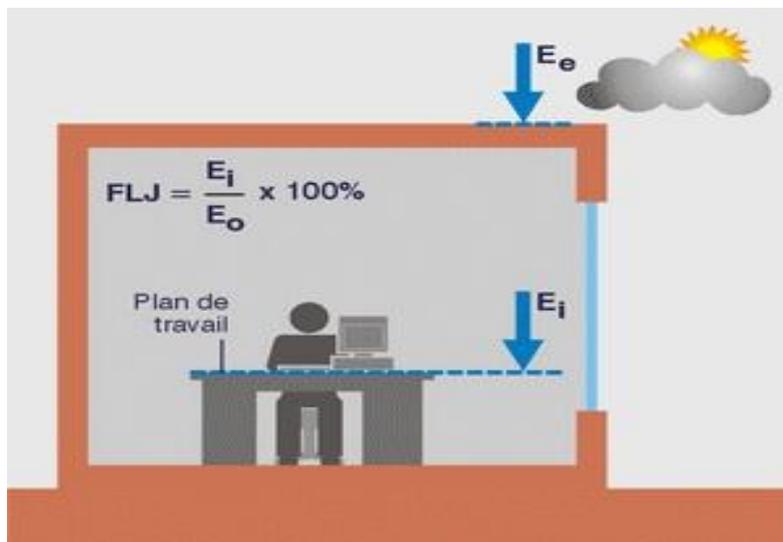


Figure II.16 – Facteur de lumière du jour. Source : (Daniel, Jean.P, Loïc. H, et All. 2007)

II.2.1.2.4.1. Le facteur de lumière du jour et fonction des bâtiments

Le FLJ diffère d’un endroit à un autre, par exemples :

✓ *Dans les bureaux :*

L'évolution récente de l'architecture tend à favoriser l'éclairage naturel, qui est par ailleurs obligatoire. On rectifie ainsi la tendance des décennies précédentes caractérisée par l'omniprésence de l'éclairage artificiel, souvent en service en pleine journée dans des bâtiments comportant de nombreux locaux aveugles ou des postes de travail très éloignés des fenêtres. Cette tendance actuelle s'accompagne, hélas, trop souvent, d'un contrôle (très) insuffisant des apports solaires thermiques et des éblouissements provoqués par le contraste excessif généré par les grandes baies vitrées.

✓ *Dans l'habitat :*

L'éclairage naturel est toujours l'éclairage principal du logement. Il doit être "contrôlé" : sa modulation doit être permise aux utilisateurs en fonction de l'activité désirée, de l'heure, du jour, de l'éclairement extérieur, d'où l'utilité des protections solaires variables (volets roulants, volets..).

✓ *Dans les locaux d'enseignement :*

L'éclairage naturel des classes est obligatoire, par contre les apports solaires directs sont généralement à éviter en raison de l'éblouissement provoqué. A contrario, dans les locaux de détente, les halls d'accueil, les circulations, où l'uniformité de l'éclairement n'est pas un critère décisif, les apports solaires directs peuvent participer à l'animation des lieux.

✓ *Dans les locaux sportifs :*

Même si l'éclairage naturel est souhaitable, l'éblouissement est toujours à éviter. (ARENE Agence Régionale de l'Energie).

Le tableau ci-dessous donne quelques exemples de l'ordre des grandeurs du FJL dans différentes zones :

<i>Type d'espace</i>	<i>FLJ</i>
Bureau éloigné d'une fenêtre.	0.5% à 1%
Bureau proche d'une fenêtre.	3% à 6 %
Musée de peinture.	0.6 à 1.8%
Patio vitré.	10% à 20%
Paroi verticale (ext).	30% à 50%
Surface en toiture.	100%

Tableau II.2- Ordres des grandeurs. Source : ARENE Agence Régionale de l'Energie.

II.2.1.2.4.2. Correspondances quantitatives et qualitatives du FLJ

Le tableau ci-dessous (tableau II.3) résume les correspondances quantitatives et qualitatives du facteur de lumière du jour du FLJ dans des zones supposées lointaines ou voisines des fenêtres.

Facteur de lumière du jour	Moins de 1%	de 1% à 2%	de 2% à 4%	de 4% à 7%	de 7% à 12%	Plus de 12%
	Très faible	Faible	Modéré	Moyen	Elevé	Très élevé
Zone considérée	Zone éloignée des fenêtres (distance supérieure à 3 fois la hauteur de la fenêtre)			Zone à proximité des fenêtres ou sus des lanternaux		
Impression de clarté	Sombre à peu éclairé		Peu éclairé à clair		Clair à très clair	
Remarques	Convient aux zones de circulation, stockage etc.		Convient aux locaux de travail		Attention aux éblouissements	
Impression visuelle	Cette zone semble séparée de cette zone					
Ambiance	Le local semble refermé sur lui même			Le local s'ouvre vers l'extérieur		

Tableau II.3. Correspondances quantitatives et qualitatives du facteur de lumière du jour. Source : Aurore BONNET, Éclairage naturel L5C – 2009/2010. Ecole d’architecture de Grenoble.

II.2.1.2.5. Les critères d’un éclairage de qualité

	<i>Minimal</i>	<i>Recommandé</i>	<i>Idéal</i>
<i>Bibliothèque</i>	300 lux	500 lux	750 lux
<i>Classe</i>	300 lux	500 lux	750 lux
<i>Cuisine</i>	300 lux	500 lux	750 lux
<i>Salle de réunion</i>	300 lux	500 lux	750 lux
<i>Bureaux (travaux généraux)</i>	300 lux	500 lux	750 lux
<i>Bureau (lecture et écriture continue)</i>	300 lux	500 lux	1000 lux
<i>Parking</i>	50 lux	75 lux	100 lux
<i>Couloir</i>	100 lux	150 lux	200 lux
<i>Réfectoires</i>	150 lux	200 lux	300 lux
<i>Sanitaires</i>	100 lux	150 lux	200 lux

Tableau II.4. Critères d’un éclairage de qualité – Optimiser L’éclairage Naturel – Février 2007. Guide pratique pour la construction et la rénovation durables de petits bâtiments, Recommandation pratique CSS06.

Un éclairage de qualité est caractérisé par les critères suivants :

- une bonne répartition (ou bonne uniformité). Ce critère n'est pas essentiel dans l'habitat.
- un niveau d'éclairement adapté à l'usage du local ou de la zone considérée.
- une absence d'éblouissement dû au contraste excessif des luminances. (ARENE Agence Régionale de l'Energie).

II.2.1.3. TEMPERATURE

La température est une grandeur physique mesurée à l'aide d'un thermomètre et étudiée en thermométrie. Dans la vie courante, elle est reliée aux sensations de froid et de chaud, provenant du transfert de chaleur entre le corps humain et son environnement. L'échelle de température la plus répandue est le degré Celsius, dans laquelle l'eau gèle à 0 °C et bout à environ 100 °C dans les conditions standard de pression.

(http://fr.wikipedia.org/wiki/Architecture_bioclimatique)

II.2.1.3.1. NOTIONS DE BASE

II.2.1.3.1.1. Propriétés thermiques des matériaux

a/ *Propriétés des surfaces:*

- L'absorptivité : L'absorptivité est la propriété d'une matière qui détermine sa capacité pour absorber l'énergie radiante, et comme la réflectivité, rangées entre 0 et 1. Il est la proportion entre le montant d'énergie radiante qui atteint une surface et le montant d'énergie absorbée par la surface.

L'absorptivité de la surface ou la proportion des rayonnements solaires incidents absorbée varie avec la longueur d'onde du rayonnement, qui, à son tour dépend de la température de la surface émettant le rayonnement.

- L'émissivité : La propriété de l'émissivité de la surface détermine sa capacité pour émettre l'énergie radiante. Il est mesuré comme une proportion de l'énergie radiante totale émise par un corps à celle émise par un parfait corps noir, les deux étant à la même température. Une émissivité de 0 signifie que la matière n'absorbe pas de radiations comme dans le cas d'un parfait réflecteur, alors qu'un parfait corps noir qui absorbe la totalité des radiations incidentes a une émissivité de 1. Donc absorptivité et émissivité sont égaux à la même température. L'absorptivité d'une surface est la même que l'émissivité pour le rayonnement de la même longueur d'onde.

b/ Propriétés thermiques des matériaux opaques :

- L'admittance : L'admittance d'une surface est le taux d'absorption ou d'émission de la chaleur de ou / à l'air lorsque la température de l'air est différente de la température de la surface. Il est exprimé en W/m^2K .
- Déphasage (time lag) : c'est la différence dans le temps entre les amplitudes (maxima ou minima) des températures journalières. Le déphasage représente le délai de transfert thermique de l'extérieur vers l'intérieure. Il est probablement le concept le plus intéressant à évoquer quand il s'agit d'étudier le comportement de l'enveloppe et la structure des bâtiments dans de conditions dynamiques.
- Transmission de l'air à l'air (U value) : c'est la capacité de transmettre une variation de température entre l'extérieur et l'intérieur. Il est exprimé en W/m^2K .
- Capacité thermique : ou capacité calorifique désigne la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température d'une unité de volume d'un matériau ou d'un mur par une unité de température. Ainsi la quantité de chaleur qu'un matériau peut stocker par unité de volume dépend de la capacité calorifique volumique (unité de volume, en $kcal/m^3 C^\circ$ ou $KJ /m^3 ^\circ C$ ou $Wh /m^3 ^\circ C$) et aussi de la capacité d'une unité de masse ou chaleur spécifique (en $kcal /kg ^\circ C$ ou $kJ/kg ^\circ C$). Avec les variations périodiques de conditions extérieures (température, rayonnement solaire, vent, humidité) et une résistance thermique donnée, le flux de chaleur transmis à l'intérieur d'un bâtiment décroît lorsque sa capacité calorifique croît.
- Conductance thermique : détermine la proportion du flux de chaleur qui traverse un élément de construction (mur ou toiture). Elle dépend de la conductivité du matériau et de l'épaisseur de la paroi. La conductance totale d'une paroi est l'inverse de la résistance : $K=1/R (W/m^3 ^\circ C)$.

II.2.1.3.1.2. Les transferts radiatifs

Un revêtement ou une peinture confèrent à un mur certaines propriétés optiques, qui influencent l'absorption du rayonnement solaire. Les propriétés optiques importantes du point de vue thermique sont l'absorption du rayonnement solaire et l'émission de chaleur par rayonnement infrarouge depuis la surface. Ces deux grandeurs correspondantes sont comprises entre 0 et 1.

L'absorption du rayonnement solaire incident par les parois opaque est calculée par un bilan thermique au niveau de la surface absorbante, en fonction du facteur d'absorption de cette

surface. Le rayonnement incident absorbé est reparti entre une quantité pénétrant et une quantité perdue vers l'ambiance extérieure. (Transfert radiatifs et convectifs). (Aide pléiade et confie).

Il entre dans l'échange avec le soleil, l'échange entre une personne et l'architecture qui l'abrite, et l'échange entre un édifice et le milieu qui l'entour. Le problème général des échanges par rayonnement est extrêmement complexe car chaque élément de surface d'un corps émet dans toutes les directions et reçoit de toutes les directions et de tous les lieux qui le voient. (Lavigne. P, 1994). D'ici un échange d'énergie par rayonnement électromagnétique entre deux surfaces nécessite la connaissance des facteurs de forme.

II.2.1.3.1.3. Les différents processus de transferts de chaleur

Le transfert de chaleur est produit selon les trois processus cités ci-dessous :

✓ *La conduction :*

Il s'agit du transfert de la chaleur d'un endroit à l'autre d'un milieu, sous l'influence d'un gradient de température, sans mouvements macroscopiques. La conduction est d'autant plus facilement observable que les mouvements macroscopiques sont inhibés. On l'observe donc principalement dans les solides.

Prenons l'exemple d'une barre métallique que l'on chauffe à l'une de ses extrémités: l'agitation thermique des atomes situés à l'extrémité chauffée de la barre augmente et se transmet de proche en proche dans la direction inverse du gradient thermique. Dans les métaux, la conduction fait intervenir les électrons libres qui les rendent bons conducteurs de la chaleur. En revanche dans les isolants, la conduction se fait mal. En résumé, il y a une forte correspondance entre les propriétés thermiques et électriques des solides.

La conduction s'observe aussi dans des fluides au repos mais elle est beaucoup plus faible que dans un métal. De plus, elle est souvent dominée par la convection.

✓ *La convection :*

La convection implique le transport de la chaleur par une partie d'un fluide qui se mélange avec une autre partie. La convection concerne exclusivement les fluides (gaz ou liquides) puisqu'elle prend sa source dans un transport macroscopique de matière.

La convection a lieu par exemple lorsque l'on chauffe une casserole d'eau. Le gradient thermique vertical est dirigé vers le bas. La masse volumique du fluide inférieur s'abaisse (car celui ci est plus chaud) et le fluide s'élève pour être remplacé par du fluide plus lourd situé plus haut.

La convection tente de s'opposer au gradient thermique par un mouvement de fluide.

Ce processus est associé à l'action de la gravité. On note que si l'on chauffe la casserole par le haut, le fluide chaud se situe au dessus du fluide froid et la convection est annihilée.

En gardant cette image dans la tête, on s'aperçoit immédiatement que la convection est importante dans l'atmosphère (les phénomènes de brises thermiques par exemple) puisque l'atmosphère est principalement chauffée par la Terre (nous verrons qu'il absorbe très peu le rayonnement solaire).

Cette animation présente une coupe verticale de l'atmosphère :

- Axe des abscisses : la surface terrestre
- Axe des ordonnées : la verticale

Les couleurs représentent le champ de température "dite potentielle" en Kelvin ($T(^{\circ}\text{C}) \# T(\text{K}) - 273$). A l'instant initial, on introduit une bulle chaude (couleur rouge) dans une atmosphère stratifiée (le "chaud" est en haut : situation stable) En revanche, les océans chauffés par le haut présentent peu de phénomènes de convection.

✓ *Le rayonnement :*

Un corps chauffé émet de l'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique. Une des particularités de ce rayonnement dit "thermique" est qu'il peut se propager dans le vide.

Au niveau microscopique, ce phénomène ne peut s'expliquer en physique classique. Cependant, on retiendra comme image que plus la température du corps est élevée, plus l'agitation thermique responsable de l'émission est élevée.

Comme tout rayonnement électromagnétique, le rayonnement dit thermique est caractérisé par une densité d'énergie et un spectre (répartition de l'énergie suivant la longueur d'onde).

Le rayonnement thermique se déplace vers les courtes longueurs d'ondes quand la température du corps augmente. Ainsi le filament de tungstène utilisé dans les lampes à incandescence a une couleur caractéristique de sa température. A faible température, il est rouge orangé, puis jaune puis blanc. Le pic du spectre d'émission se déplace de la limite entre l'infrarouge et le visible (rouge) vers le milieu du visible (blanc).

Il faut finalement distinguer la nature des récepteurs de ce rayonnement thermique : certains le réfléchissent d'autres l'absorbent et le transforment en énergie interne pour rayonner à leur tour.

II.2.1.3.2. Le confort thermique:

L'homme a toujours construit pour s'abriter des aléas du climat. Nous pourrions à priori retenir quatre raisons essentielles qui ont poussé l'homme à construire:

- Sociale
- Symbolique
- Fonctionnelle
- Artistique

Mais il faut noter que l'objectif primaire de l'homme, à travers la construction, reste celui de "modifier le climat". D'où le concept du "*bâtiment comme élément modificateur du climat*". Le confort thermique a été défini comme étant la condition dans laquelle aucune contrainte significative n'est imposée aux mécanismes thermorégulateurs du corps humain. Le confort thermique permet l'obtention de conditions optimales pour tous les systèmes fonctionnels de l'organisme ainsi qu'un haut niveau de capacité de travail. (Mazouz S. Cours PG, 2008)

II.2.1.3.2.1. Les paramètres du confort thermique

Il existe différents paramètres de détermination du confort thermique, ces derniers sont :

1. La température ambiante de l'air T_a .
2. La température moyenne des parois T_{rm} .
3. L'humidité relative de l'air (HR), qui est le rapport exprimé en pourcentage entre la quantité d'eau contenue dans l'air à la température T_a (extérieur) et la quantité maximale d'eau contenue à la même température.
4. La vitesse de l'air, qui influence sur les échanges de chaleur par convection. Dans le bâtiment, les vitesses de l'air ne dépassent généralement pas 0,2 m/s
5. Le métabolisme, qui est la production de chaleur interne au corps humain permettant de maintenir celui-ci autour de 36,7°C. Un métabolisme de travail correspondant à une activité particulière s'ajoute au métabolisme de base du corps au repos.
6. L'habillement, qui représente une résistance thermique aux échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement. (figure II.17) (Yannas S., 1994 ; Evans M., 1998)

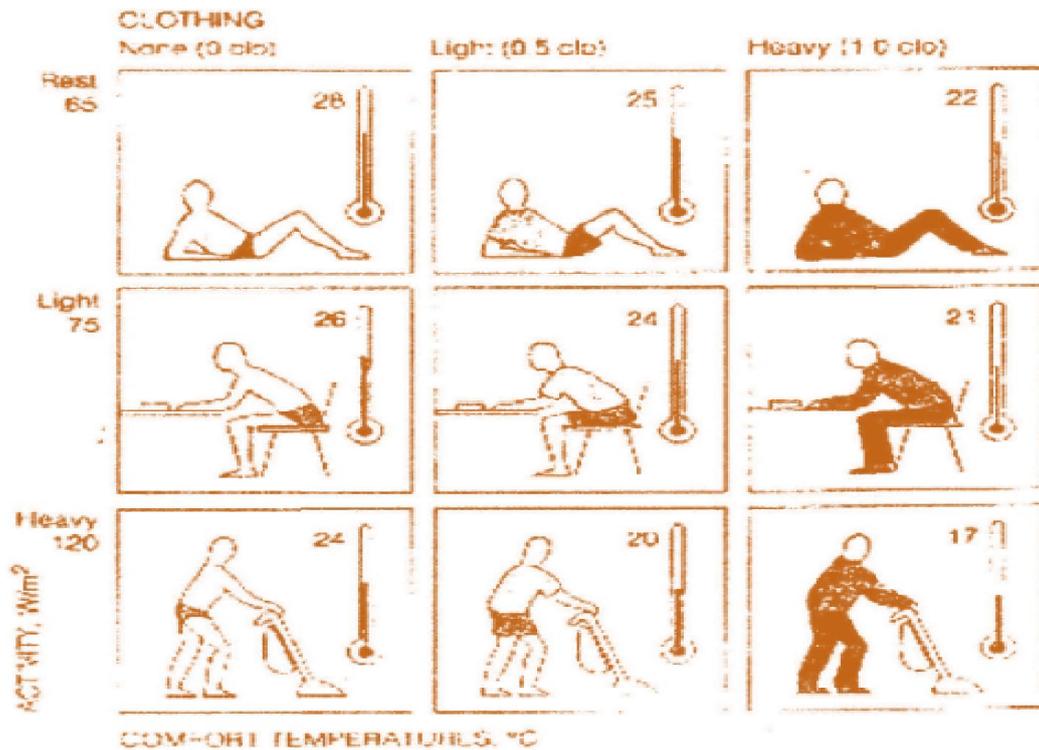


Figure II.17. Température de confort en fonction du niveau d'activité et d'isolement vestimentaire. Source : Yannas S., 1994, p. 11.

✓ *La température d'air intérieure (°C)*

La température de l'air ambiant est le premier paramètre à contrôler. Néanmoins, pris séparément, il ne peut donner une idée précise du confort prévalant dans une ambiance quelconque. Elle est mesurée par un thermomètre au bulbe sec. L'intervalle de confort varié entre 18 et 25 C°.

✓ *L'humidité relative (%)*

L'humidité couplée à la température ambiante donne déjà une idée du confort d'ambiance interne. On exprime l'humidité par le rapport de la vapeur d'eau contenue dans l'air à la quantité de vapeur d'eau que l'air saturé peut contenir à une température donnée.

L'intervalle de confort, bien que dépendant d'autres paramètres dont la température et la vitesse de l'air, peut aller de 20 à 80 %. Au-dessous de 20% l'air devient trop sec au point de provoquer des irritations aux lèvres et aux yeux notamment. Au-dessus de 80%, l'air devient trop humide et moite.

✓ *La température des parois (température radiante)*

La température des parois est une *température radiante* indicatrice important du confort intérieur d'un local. Car c'est cette dernière qui donne une idée sur la nature de l'isolation ou

de l'inertie thermique d'une paroi. Ainsi une paroi mal isolée présente souvent une température radiante trop inférieure par rapport à la température de l'air ambiant.

Ce qui conduit souvent à ressentir un inconfort dû à la différence de température en question. Il suffit d'imaginer, pour comprendre ce phénomène, à l'ambiance interne d'une tente implantée dans une région froide en plein hiver. Ainsi, dans ces conditions, même si l'on dispose d'un instrument de chauffage, on sent toujours le froid dans le dos.

Dans un bâtiment en dur, les désagréments peuvent être nombreux dont ceux causés par la condensation superficielle et ses effets néfastes sur les meubles, les revêtements intérieurs. Pour un architecte, la température radiante n'est très difficile à contrôler. il suffit de choisir des matériaux de construction et de les agencer de façon à obtenir une paroi présentant un coefficient de conductibilité thermique (k) valable et à toujours veiller à ce que la différence de température entre la paroi et l'air ambiant ne dépasse pas les cinq degrés Celsius (05 °C).

Importance de la température des parois

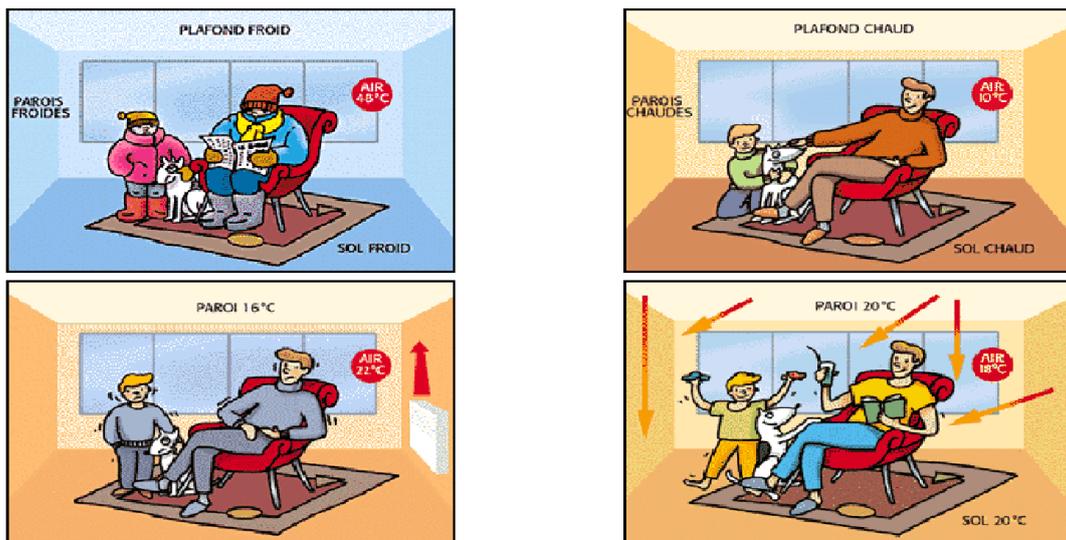


Figure II.18. Température radiante. Source MAZOUZ.S Cours de la post graduation 2008, Biskra.

✓ *Confort et vitesse de l'air*

La vitesse de l'air (et plus précisément la vitesse relative de l'air par rapport à l'individu) est un paramètre à prendre en considération car elle a une influence sur les échanges de chaleur par convection et elle augmente l'évaporation à la surface de la peau.

A l'intérieur des bâtiments, 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. A titre de

comparaison : se promener à la vitesse de 1 km/h produit sur le corps un déplacement de l'air de 0,3 m/s.

Le mouvement de l'air abaisse la température du corps, facteur recherché en été mais pouvant être gênant en hiver (courants d'air).

II.2.1.3.2.2. Stratégies d'évaluation du confort thermique

Il existe en littérature un certain nombre de méthodes dites d'évaluation du confort thermique, basées sur des expérimentations menées par différents chercheurs et mettant en œuvre différents paramètres de détermination du confort thermique. Plusieurs méthodes de combinaison ont été développées par les chercheurs pour la manipulation simultanée des variables du confort. Parmi ces méthodes, on peut citer:

- Température Effective
- Température résultante
- Indice de confort équatorial
- Indice de contrainte thermique
- Méthode du B.R.S.
- Température opérative
- PPD/PMV
- Diagrammes bioclimatiques (Givoni, Olgyay, Etc.)

✓ *Température effective (°C)*

La notion de température effective a été développée aux USA dès 1923 sur la base d'essais de confort ressenti portant sur un grand nombre de sujets: La *température effective* se détermine par un jeu d'abaques en fonction de la température d'air, de l'humidité de la vitesse d'air ainsi que du degré d'habillement. Cette température est déterminée de façon à procurer le même confort qu'une ambiance à 50% d'humidité relative et sans vitesse d'air.

✓ *Indice de la température Résultante*

L'indice de la température résultante, développé par Missenard (1948), est basé sur la supposition qu'une base plus solide pour un indice thermique serait formée par des expériences dans lesquelles l'équilibre thermique est réalisé entre le corps et l'environnement, afin que les effets d'humidité et du vent puissent être trouvés. Des résultats expérimentaux est issu un nomogramme pour le corps vêtu. Pour l'exemple de la température efficace, la valeur

de la température résultante lue du monogramme s'avère être 23.5°C. La rangée des facteurs climatiques couverte par la température résultante est une température de l'air comprise entre 20-45°C, une température humide comprise entre 18 et 40°C et une vitesse de l'air entre 0 et 3 m/s.

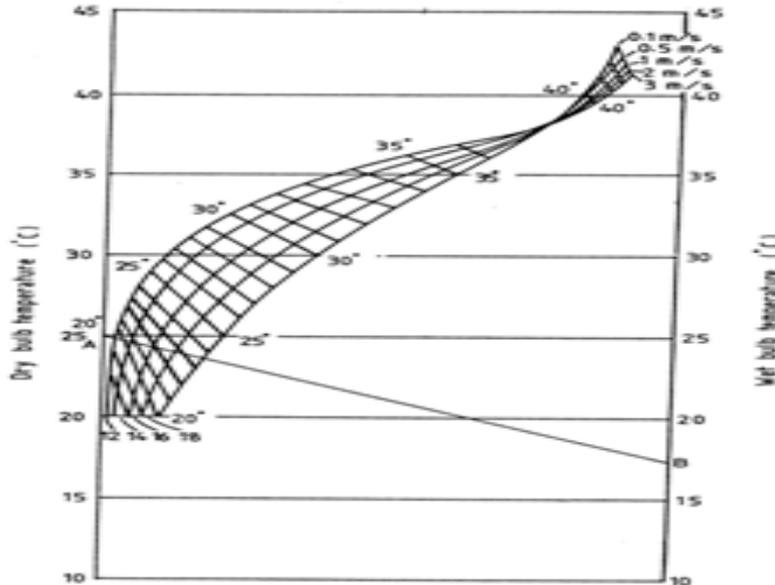


Figure II.19 - Indice de la température Résultante. Source : Mazouz S. Cours PG, 2008, Biskra.

✓ *L'indice de contrainte thermique*

L'indice de contrainte thermique (L'I.C.T) 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 (avec une température rectale élevée mais constante).

Au-dessous de la zone de confort, l'indice prend une valeur négative indiquant une contrainte frigorifique.

L'I.C.T. 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 sécrétée 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. La relation entre la sécrétion de sueur et l'évaporation requise dépend de l'efficacité de refroidissement de la sueur. Lorsque cette efficacité diminue le corps doit sécréter la sueur selon un taux plus élevé que celui qui

équivaldrait à la chaleur latente du refroidissement requis, dans le but d'obtenir ce refroidissement en dépit de la réduction d'efficacité.

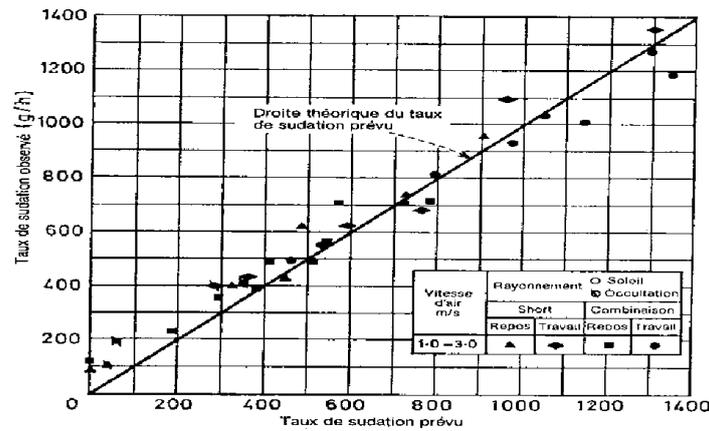


Figure II.20. Indice de contrainte thermique. Source : Mazouz S. Cours PG, 2008, Biskra.

✓ Diagrammes bioclimatiques

Parmi les outils les plus connus dans ce domaine on peut citer le Diagramme bioclimatique d'Olgyay, celui de Givoni, les Tables de Mahoney, et la Méthode de Szokolay.

Les diagrammes bioclimatiques sont des outils de synthèse qui permettent de choisir les grandes options architecturales à partir des exigences du confort thermique et des profils du climat extérieur. Le principe consiste à confronter sur un même graphique, «un polygone de confort», un 'climogramme' représentant les conditions extérieures et l'aire d'influence thermique et hygrométrique de certaines solutions architecturales ou de certains dispositifs.

Le diagramme bioclimatique combine plusieurs types de données dont:

- Les données du climat extérieur
- Les données du confort thermique
- Les solutions architecturales.

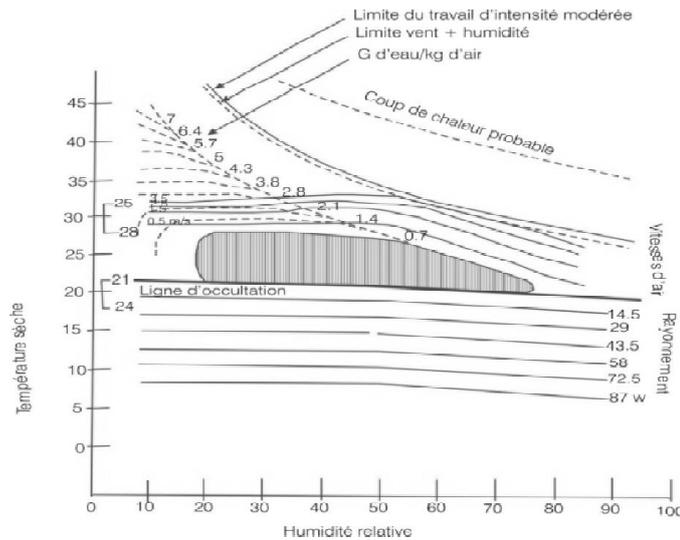


Figure II.21. Diagramme bioclimatique d'Olgay. Source : Mazouz S. Cours PG, 2008, Biskra.

Sur le diagramme, la zone de confort est au centre, avec les plages d'hiver et d'été indiquées séparément (prenant en compte les adaptations saisonnières). La limite inférieure de la zone est également la zone limite au-dessus de laquelle il est nécessaire d'introduire l'occultation solaire.

II.2.2. FACTEURS HYDROLOGIQUES

II.2.2.1. LES PRECIPITATIONS

Les précipitations sont produites par le phénomène de condensation de l'air dans les couches supérieures de l'atmosphère, sous forme de nuages contenant des gouttelettes d'eau, l'air s'élevant de plus en plus haut, le poids des gouttelettes augmente, provoquant ainsi la chute de pluies ou de neige. (Givoni. 1978).

II.2.2.2. HYGROMETRIE

L'hygrométrie caractérise l'humidité de l'air, On entend par humidité, la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air. Elle subit des variations en fonction de la température qui est considérée comme facteur déterminant. Ces variations subordonnées au régime annuel du rayonnement solaire et des températures moyennes, provoquent une répartition disproportionnée de la vapeur dans différentes régions de la terre, d'où la très forte concentration dans les régions équatoriales, et la diminution en amont vers les pôles. (Givoni 1978). L'humidité s'exprime en terme de :

Humidité absolue : Ce terme reflète le poids de la vapeur d'eau contenu dans une unité volumétrique, et s'exprime en : (g/m³).

Humidité relative : c'est le rapport entre l'humidité absolue et la quantité d'humidité maximale que peut contenir l'air, elle s'exprime en pourcentage.

L'humidité comme élément du climat, joue un rôle important dans le confort d'une ambiance.

II.2.3. FACTEURS MECANIQUES

II.2.3.1. LES VENTS

L'origine des vents est due aux mouvements conventionnels de l'atmosphère, et c'est le mouvement horizontal qui tend à équilibrer les différentes zones de pressions dans l'atmosphère. (Gandemer J. 1979). On peut illustrer essentiellement trois types de vents : les vents alizés, les vents d'Ouest, et les vents polaires, complétés par les vents dits de moussons, la brise, les vents des montagnes et des vallées. (Givoni 1978).

Les vents alizés :

Ont pour origine les régions de hautes pressions subtropicales des deux hémisphères et convergent vers le front intertropical. Ils s'écoulent en direction Sud-ouest dans l'hémisphère Nord, et en direction du Nord-Ouest pour l'hémisphère Sud, leurs caractéristiques dépendent des surfaces sur lesquelles ils circulent. Leurs vitesses variées entre 15 et 45 Km/h.

Les vents d'Ouest :

Ayant également pour origine les régions subtropicales, et se dirigent vers les zones de basses pressions subarctiques. Ils se caractérisent par des variations en vitesse et en directions, créant ainsi des systèmes de dépressions mobiles. En été, ils sont moins variables et leurs flux prennent comme direction le Nord-est.

Les vents polaires :

Ils ont pour origine les zones de hautes pressions polaires et arctiques, leurs directions dominantes est le Sud-ouest dans l'hémisphère Nord, et le Nord-Ouest dans l'hémisphère Sud.

Les vents mousson :

Dus principalement aux variations dans les régimes de températures moyennes annuelles sur les continents, provoquant des vents de terre en hiver et des vents de mer en été. Leur effet est beaucoup plus important dans les régions de l'océan indien, l'Asie du Sud, et l'Est africain.

Brise de terre et de mer :

Durant la journée, l'air au-dessus des terres s'échauffe plus que sur les surfaces des mers ayant la même altitude, à ce moment, l'air chaud s'élève et l'air plus froid s'écoule vers la terre, c'est la brise de mer, ainsi le phénomène s'inverse pendant la nuit, et c'est la brise de terre. Les vents générés de cette manière sont appelés brises.

Les vents de montagnes et de vallées :

Ils sont dus aux différences de températures entre l'air se trouvant au-dessus des surfaces en pente ensoleillées et celui se trouvant à la même altitude au-dessus des vallées, engendrant un mouvement de vents forts qui soufflent en remontant la vallée pendant le jour, et en la descendant pendant la nuit.

II.3. Forme géométrique, efficacité énergétique, et expression architecturale

II.3.1. L'importance de l'équilibre entre l'expression architecturale et l'efficacité énergétique des formes géométriques en architecture

Donner une forme aux choses matérielles, que nous produisons, est une nécessité inévitable. Dans l'architecture, la forme englobe et donne de l'importance soit : à l'économie, à l'esthétique, à la fonctionnalité, à la culture, mais aussi à l'efficacité énergétique.

L'approche passive aux thèmes de l'épargne d'énergie est essentiellement basée sur les articulations morphologiques des constructions. La forme, dans son sens géométrique et matériel, conditionne l'efficacité énergétique d'un bâtiment dans son interaction avec l'environnement.

Il n'y a pas un doute que cette approche passive d'énergie, étant soutenue par la forme matérielle à un impact direct sur la langue architecturale et sur l'influence de l'expression architecturale.

Le choix de la forme de construction ne dépend pas seulement des besoins énergétiques, mais de plusieurs paramètres, tels que : sociologiques, économiques, environnementaux, techniques et esthétiques. Ces paramètres interviennent au début dans la conception d'un bâtiment. Mais le souci, pour l'épargne d'énergie et par conséquent, la réduction de la pollution, doit demeurer

dans un des principes de la conception environnementale dominant sur la conception d'un bâtiment de qualité (Depecker P. et al, 2001).

Dans le but d'avoir des formes produisant des solutions énergétiques convenables, beaucoup d'intérêt est centré, récemment, autour de ces sujets, et la sagesse des formes et des concepts du passé ont été redécouverte. Parmi les concepts historiques, deux sont d'importance particulière :

1. L'établissement des relations stratégiques raisonnables et amicales avec l'environnement physique : cela est défini comme une alliance avec l'environnement qui implique la manipulation des paramètres physiques tel que le sol et la végétation, tissus urbains, pollution, et l'irradiation solaire représentant le paramètre dominant tant qu'il est la source de l'énergie primaire de notre planète. Tous ces éléments peuvent être mesurés en terme physique et sont donc le sujet de la science.
2. L'identification des interactions entre les sensations et la perception physique dans la création du sentiment du confort : les paramètres intervenant sont nos énergies émotives et intellectuelles, qui sont notre perfection inépuisable. Cependant, elles représentent l'essence même de la qualité architecturale.

Notre réalité perceptuelle résulte d'une multitude de composantes sensorielles : visuelles, thermiques, acoustiques et également de la qualité d'organisation de l'espace dans lequel les différents paramètres viennent ensemble, comme le sens du " l'ordre " ou de " la sérénité ". Mais des évaluations pratiques, telles que celles de l'utilité, peuvent être impliquées aussi. L'évaluation est complètement subjective mais elle peut également être partagée par la quasi totalité des personnes. Par conséquent, ces paramètres culturels sont différents dans divers contextes et changent non seulement avec l'environnement culturel, dans le sens anthropologique, mais également par rapport à la fonction. Les paramètres scientifiques mesurables peuvent avoir ainsi leurs significations très profondément changées par les paramètres culturels non mesurables mais descriptibles (Manfredi Nicoletti, 1998).

Il est alors très difficile d'extraire et séparer les paramètres et les éléments relatifs à cette efficacité de l'unité expressive à laquelle ils appartiennent, c'est la raison pour laquelle nos efforts ne doivent pas s'arrêter à la solution technique banale des problèmes, oubliant la

complexité de notre vie intellectuelle et émotive ou les valeurs symboliques et plus généralement psychologiques dont l'architecture est le promoteur.

Donc, l'efficacité énergétique de l'architecture ne signifie pas que l'élimination de n'importe quel excès dans la consommation d'énergie pour la construction de notre environnement, mais elle réclame aussi une expression plus modérée, plus élégante, pour augmenter la richesse et le caractère précieux de l'architecture tout en contribuant à un meilleur environnement d'un point de vue esthétique.

II.3.2. Formes de construction : paramètres en relation avec le gain de chaleur et l'ambiance thermique

La forme de construction et la volumétrie de la composition de l'enveloppe ont un effet sur la surface exposée et le gain solaire thermique. Elle doit être choisie pour bien bénéficier des avantages et se protéger contre les aspects défavorables du climat.

Des connaissances, concernant, l'effet de la relation entre la variation des paramètres géométriques d'une forme de construction avec le gain thermique résultant sur l'ambiance thermique intérieure, sont indispensables pour aider le concepteur à mieux servir l'architecture bioclimatique.

Vue la diversité illimitée des formes géométriques des constructions, le choix des trois paramètres déterminants a été le résultat des constats suivants :

- Le volume de la construction est fortement relié à sa capacité thermique, la surface de l'enveloppe est reliée à la proportion du gain ou perte de l'énergie thermique, la proportion de volume à la surface de l'enveloppe constitue un indicateur très important de la vitesse avec laquelle la construction se chauffe pendant le jour et se refroidit durant la nuit. Si le niveau de température est élevé, il est préférable que la construction se chauffe lentement : la proportion de volume à la surface est souhaitable qu'elle soit grande (Yannas S., 1994).
- Dans le climat chaud et sec, la plupart du gain solaire, durant le jour, est le résultat des radiations solaires directes. Les surfaces exposées aux radiations solaires sont plus importantes que la surface totale de l'enveloppe. Dans les basses latitudes, le toit est la surface la plus exposée aux radiations solaires, suivi par les murs Est et Ouest, et durant la nuit le toit perd la plupart de la chaleur par radiation. Connaissant que la température radiante affecte la sensation de confort, le plafond constitue donc une source indésirable de températures dans les climats chauds et secs.

- L'échange radiatif constitue un moyen important d'apport ou de perte thermique. Il entre dans l'échange avec le soleil, entre une personne et l'architecture qui l'abrite et entre un édifice et le milieu qui l'entoure. Le problème général des échanges par rayonnement est extrêmement complexe car chaque élément de surface d'un corps émet dans toutes les directions et reçoit de toutes les directions et de tous les lieux qui lui sont exposés (Lavigne P., 1994). De là, un échange d'énergie, par rayonnement électromagnétique entre deux surfaces, nécessite la connaissance des facteurs de forme.

II.3.2.1. LA HAUTEUR DU PLAFOND

Une des particularités de l'architecture traditionnelle des maisons dans les climats chauds est la hauteur du plafond, pour créer des conditions froides pour divers critères :

- Les plafonds hauts transmettent moins de radiations aux occupants que les toits bas, pour la même surface couverte (Figure. 22).

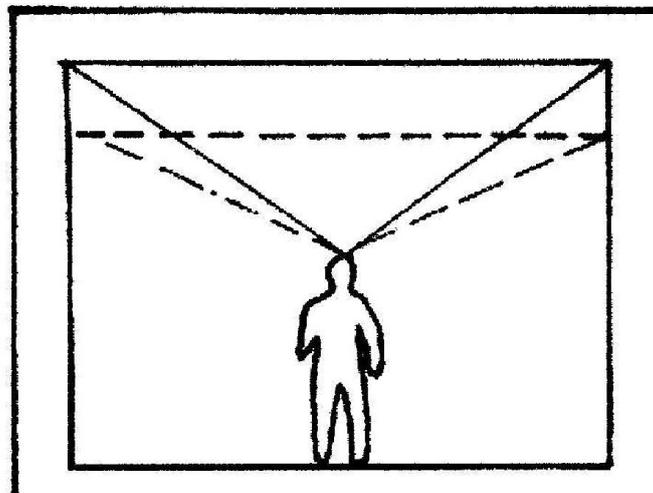


Figure II. 22. Effet de la hauteur de plafond sur la radiation du toit reçu par l'occupant. Source Evans M., 1980.

- Le transfert de la chaleur par convection est moins important avec le toit haut, puisque l'air chaud forme une couche au dessous du plafond et au dessus, aussi, des têtes des occupants (Figure. 23).

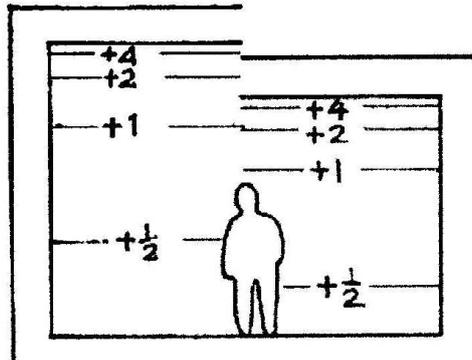


Figure II.23. Effet de la hauteur de plafond sur la gradation de la température de l'air intérieur ; une différence de $1/2^{\circ}\text{C}$ perçu par l'homme. Source Evans M., 1980, p. 62

- La possibilité d'avoir une grande différence, en hauteur, entre deux ouvertures, donne des meilleures possibilités de dégager l'air chaud par l'effet de cheminée (Figure. 24).

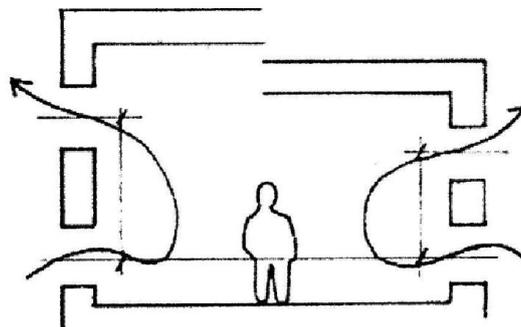


Figure II.24. Effet de la hauteur de plafond sur le mouvement d'air intérieur. Source Evans M., 1980, p. 62

- Le haut plafond augmente le volume de l'air dans la construction, ce qui permet au grand volume d'air de garder, longtemps, sa pureté. Un tel espace n'exige pas un taux de ventilation élevé, ce qui est primordial pour ces régions durant la journée.

Les avantages des hauts plafonds, dans les climats chauds et secs, ont été étudiés dans plusieurs pays. La conclusion établie par ces études est que la hauteur des plafonds, dans les habitations, ne les rends pas plus confortables que les habitations avec des plafonds bas de 2,7 m ou même 2,5 m. La différence peut être significative entre les plafonds ayant des hauteurs supérieures à 3,5 m et ceux avec des hauteurs inférieures à 2,5m, avec des températures

du toit plus élevée (Evans M., 1980). Sachant qu'il est plus économique d'utiliser une couche d'isolant au niveau du toit que d'élever le plafond (Watson D. et Camous R., 1983).

De même que l'effet de cheminée, pour la ventilation, est moins signifiant, à moins qu'il existe une très grande différence entre la température de l'air intérieur et celle de l'air extérieur. Dans ce cas, la ventilation due à l'effet de cheminée est moins importante en comparaison avec celle due à l'effet de la pression d'air, même si la vitesse de l'air est très réduite (Evans M., 1980).

L'utilisation des hauts plafonds, pour atteindre le confort, est basée sur l'idée que le grand taux de gain thermique provient du toit, alors que le contrôle de gain thermique interne est assuré par d'autres moyens moins coûteux et plus efficaces. Plusieurs études ont été menées par B. Givoni sur l'effet de la réduction de la hauteur de plafond sur le confort intérieur dans les pays chauds dont la conclusion était que ; « *...dans les régions chaudes, les pièces a plafonds bas (vers 2.5m) ne sont pas thermiquement inférieures aux pièces à plafonds plus élevés (jusqu'à 3,3m) >>* (Givoni, 1978).

II.3.2.2. LE PARAMÈTRE DE FORME

Le projet de cette thèse entre dans le cadre de l'étude de la relation entre la performance thermique et la forme de construction. Pour fournir des solutions énergétiques performantes, la définition d'un paramètre qui caractérise la forme doit être introduite, les concepteurs doivent pouvoir le manipuler facilement. Il est assez important que sa définition géométrique et mathématique soit simple et facile pour l'employer dans le développement du projet.

Afin de qualifier la forme, un coefficient de forme C_f est défini comme suit :

$$C_f = Se / V \quad [m^{-1}]$$

Se : est la surface d'enveloppe du bâtiment.

V : est le volume intérieur du bâtiment (Depecker P. et al, 2001).

Selon plusieurs études scientifiques, la relation entre le coefficient de forme C_f et la consommation d'énergie est établie comme suit :

- Long Enshen a étudié les lois de variation de consommation d'énergie de deux genres de bâtiments, qui ont différents coefficients de forme, dans des conditions climatiques complètement différentes, en utilisant 14 villes situées dans la latitude Nord entre 22° et 52°, il a aboutie à la conclusion suivante : l'augmentation du coefficient de forme peut certainement augmenter le besoin de chauffage et de refroidissement annuel quelque soient les conditions climatiques (Long Enshen, 2005).

• P. Depecker et al concluent que le coefficient de forme C_f s'avère être une bonne représentation de la consommation d'énergie, quant le climat est plutôt rigoureux, dans ce cas, la compacité sera recherchée, mais quand le climat est doux et ensoleillé, le C_f n'est plus représentatif et la compacité peut ne plus être recommandée. D'autres paramètres tels que l'orientation, l'inclinaison et la géométrie du bâtiment pourraient améliorer probablement la corrélation avec la consommation d'énergie (Depecker P. et al, 2001).

Pour le climat chaud et sec, un des climats rigoureux, le paramètre de forme intervient dans la détermination de la performance thermique, et selon P. Depecker, la forme compacte est, dans ce cas, recommandée. Mais, tant que l'intensité des rayonnements solaires et la grande durée de l'ensoleillement caractérisent ce type de climat, d'autres paramètres, assez importants, doivent intervenir dans la détermination de la forme de construction :

- L'orientation.
- L'ombrage.

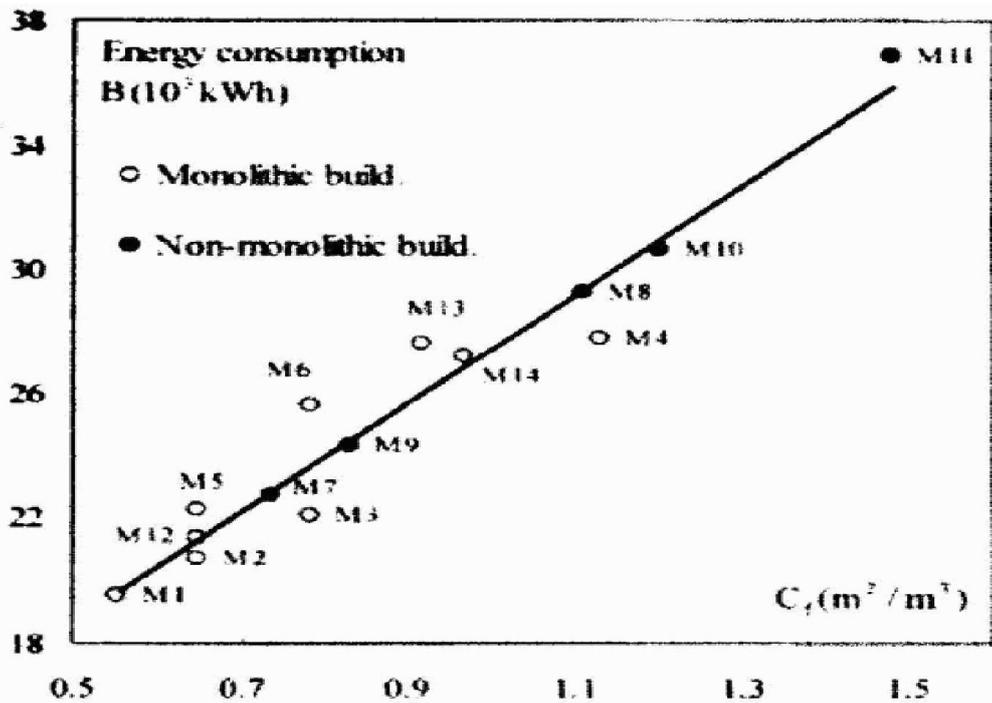


Fig II. 25. Variation de la consommation d'énergie B en relation avec le coefficient de forme C_f dans un climat froid, Paris. Source Depecker P. et al, 2001, p. 633-634.

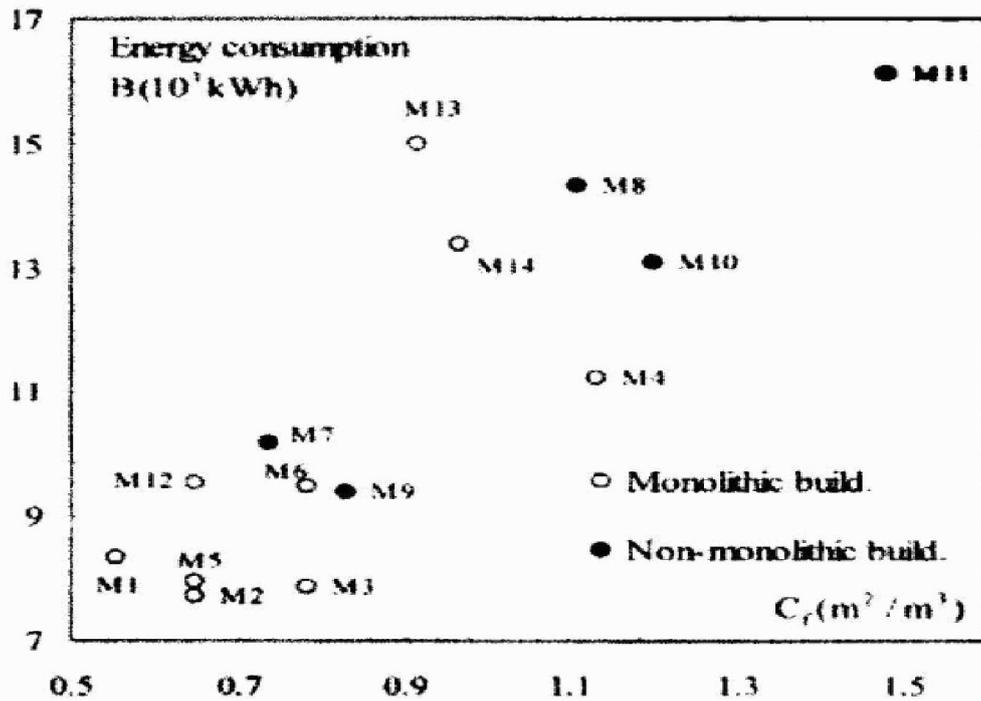


Fig. II.26. Variation de la consommation d'énergie B en relation avec le coefficient de forme Cf dans un climat tempéré, Carpentras Source Depecker P. et al, 2001, p. 633-634.

II.3.2.3. FACTEURS DE FORME

Ils sont compris entre 0 et 1, ils traduisent le rapport entre la quantité d'énergie, qui quitte une surface et qui atteint une autre, et la quantité totale d'énergie qui quitte la surface. Ils sont donc proportionnels à l'angle solide sous lequel une surface émettrice se trouve exposée à une surface réceptrice.

Pour chaque élément de surface, il est nécessaire de calculer les facteurs de forme entre celui-ci et les autres surfaces et entre celui-ci et le ciel. Le facteur de forme entre deux surfaces i et j , orientées d'un angle de 6° par rapport à leur normale n et séparées d'une distance r augmente avec la diminution de l'angle compris entre 0° et 90° . Pour une surface horizontale, l'échange des rayonnements de grandes longueurs d'onde ce fait avec le ciel, avec une valeur maximale du facteur de forme entre la surface et le ciel qui est égale à 1.

II.3.3. EFFETS DE L'ORIENTATION SUR LE GAIN THERMIQUE

Plusieurs variables affectent le choix de l'orientation d'une construction. Elles sont, d'ordre naturel, tel que la topographie du site et ces conditions climatiques, et d'ordre artificiel tel que l'impact de l'occupation de l'environnement poussent, le concepteur à la recherche d'une

orientation convenable. L'action de l'orientation affecte principalement la durée d'ensoleillement, les températures des surfaces et le gain d'énergie transmis par l'enveloppe, affecte ainsi le confort thermique en variant : (Izard J.L., 1994).

- La puissance maximale du rayonnement reçu.
- Le moment de la journée où la puissance du rayonnement est maximale.
- La durée d'insolation de la surface.
- L'albédo du sol.

II.3.3.1. EFFET DE L'ORIENTATION D'UNE SURFACE SUR LES RADIATIONS SOLAIRES REÇUES

Pour un plan, d'orientation et d'inclinaisons données, situé dans un environnement, le rayonnement solaire peut être considéré selon différentes optiques. En tant que puissance, ou plus exactement densité de flux incident, qui est connue en fonction du moment, de la latitude et de la qualité du ciel. En tant qu'énergie moyenne reçue (par exemple journalière), pendant une période donnée. La quantité de la radiation solaire, reçue par des surfaces de différentes orientations, diffère selon leur visibilité du soleil (Yannas S., 1994).

Le rayonnement en provenance du soleil et atteignant un plan, présente trois composantes :

- Le rayonnement direct qui provient directement du soleil, et qui peut être nul, par temps couvert.
- Le rayonnement diffus qui provient de la diffusion du rayonnement solaire par les particules de l'atmosphère et qui est en quelque sorte émis par la voûte céleste : faible par ciel très pur, ce rayonnement n'est jamais nul.
- Le rayonnement réfléchi qui provient de la réflexion sur l'environnement des deux rayonnements précédents (Lavigne P., 1994). L'intensité du rayonnement réfléchi est une fonction du facteur de réflexion moyen ou albédo : l'albédo d'un sol est le rapport entre le rayonnement renvoyé par le sol et le rayonnement incident (Bouvier F., 1989).

On doit citer comme points essentiels que :

- les surfaces verticales reçoivent toujours les radiations réfléchies par le sol.
- L'intensité de rayonnement solaire diffus, reçue par les surfaces verticales Est, est la moitié de celle reçue par la surface horizontale, parce qu'elle est exposée à la moitié du ciel (Evans M., 1980).

- La surface horizontale ne reçoit aucun rayonnement réfléchi sauf si elle se situe à proximité d'une forte élévation du sol ou d'une construction plus élevée (Givoni, 1978).

La différence, dans la densité des radiations solaires incidentes sur les surfaces horizontales, dépend de la géométrie solaire exprimée par des coordonnées angulaires de la position du soleil, celle-ci déterminée par des angles mesurés en degrés :

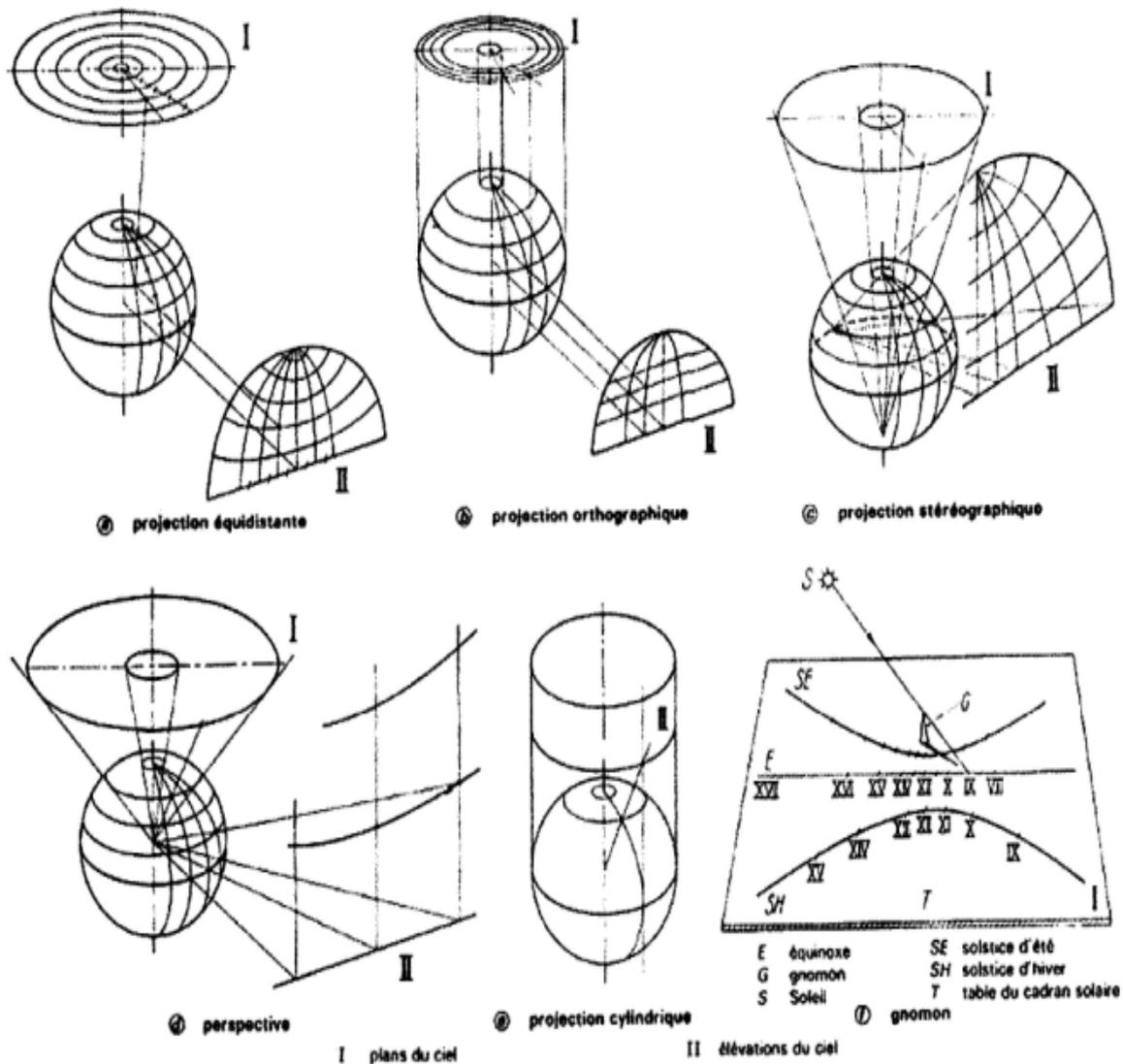


Figure II.27. Mode de projections utilisées pour les diagrammes solaires. Source : Bouvier, F, 1989, p 6.

Par rapport à l'équateur terrestre et au méridien du lieu considéré, ces angles ne dépendent que de la saison et de l'heure : ce sont la *déclinaison* δ comptée à partir de l'équateur et *l'angle horaire* H à partir du midi vrai.

- Par rapport au méridien du lieu et à l'horizon, ces angles dépendent en outre de la latitude Φ , comptée à partir de l'équateur : ce sont la *hauteur* h mesurée à partir de l'horizon et *l'azimut* A à partir du Nord (Bouvier F., 1989).

La différence, dans l'intensité du rayonnement solaire direct incident des surfaces de diverses orientations, est présentée pour une latitude précise pour démontrer que l'orientation qui reçoit la plus grande quantité de radiations n'est plus stable, elle change pendant l'année avec la déclinaison du soleil. Par exemple, un plan vertical sud sous la latitude 45° reçoit le maximum d'énergie en hiver entre 11h et 13h ($>700\text{W/m}^2$). Par contre, un plan vertical ouest reçoit le maximum d'énergie entre 16h et 18h ($>600\text{W/m}^2$) (Izard J.L., 1994). Des diagrammes énergétiques universels, par inclinaison de plan et état du ciel, sont disponibles, leur intérêt est de pouvoir être superposés aux diagrammes solaires. On peut connaître les données solaires géométriques et énergétiques à chaque moment, pour chaque orientation en décalant les deux diagrammes selon l'orientation du plan considéré (Lavigne P., 1994). Il y a plusieurs types de projections de la course solaire qui ont le même principe d'utilisation, ces projections sont disponibles dans plusieurs outils d'aides de simulation d'ensoleillement, dont essentiellement : la projection équidistante, orthographique, stéréographique, cylindrique, perspective et gnomon. Ce sont des modes de projection pour réaliser des cartes du ciel (Figure. II.27).

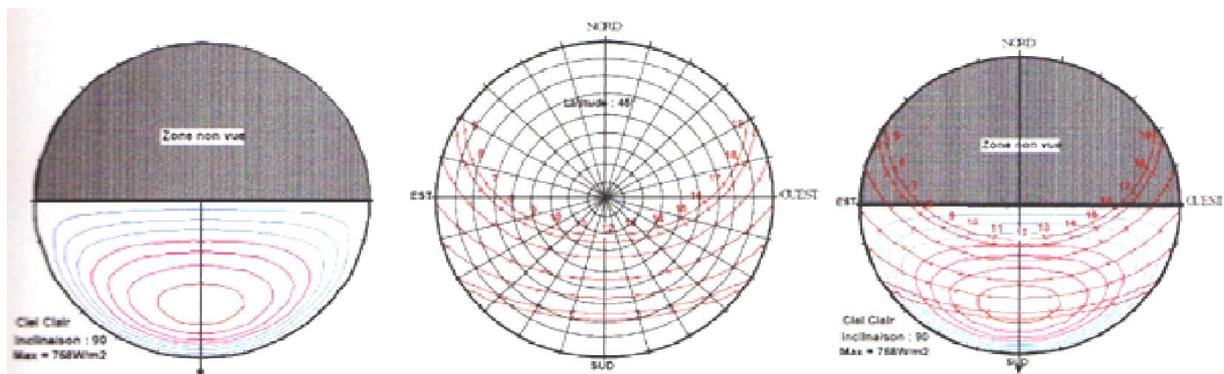


Figure II.28.a. Diagramme de l'énergie incidente sur un plan vertical, conditions de «ciel clair ».

L'équidistance des courbes est de 100W/m^2 . Source : Izard J.L., 2004, p. 17,

Figure II.28.b. Diagramme solaire de la latitude 45°N compte avec les iso hauteurs de 10 en 10° et les

azimuts de 15 en 15° . Source : Izard J.L., 2004, p. 17,

Figure II.28.c. Eclaircissement énergétique du plan vertical orienté au SUD sous la latitude 45°N .

Pour les diagrammes de projection orthographiques, on démontre, dans les (figures. II.28.a,b,c), l'utilisation d'un diagramme solaire et énergétique pour déterminer l'éclaircement d'une surface d'orientation définie.

En tenant compte de la différence des intensités de rayonnements solaire reçue par des plans de différentes orientations, On peut conclure que le Sud est une orientation recommandée pour l'hiver. En été, elle est recommandée dans un climat relativement modéré. Dans un climat à été très chaud et hiver peu rude, l'orientation Sud /Sud-Est est la meilleure. Pour un hiver rude et un été modéré, l'orientation Sud/ Sud-Ouest est recommandée.

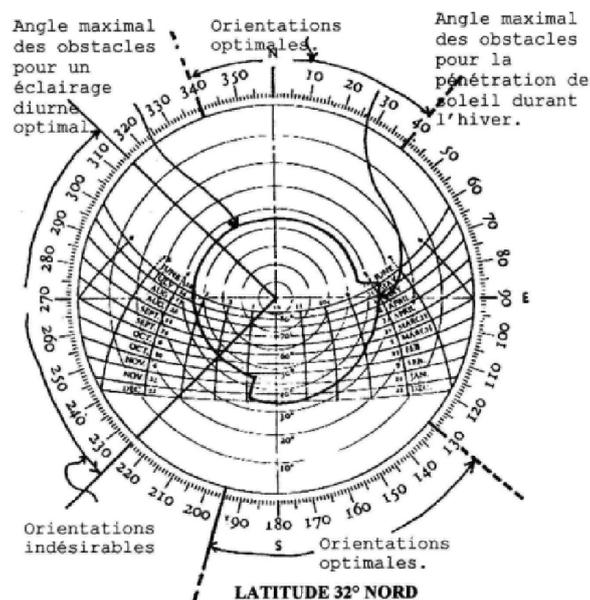


Fig II.29. Espacement et orientation requis pour des climats chauds et secs. Source : Evans M., 1980, P. 72

II.3.3.2-PARAMETRES DE L'ENVELOPPE AFFECTANT LA DIFFERENCE DE GAIN THERMIQUE DE DIVERSES ORIENTATIONS :

Les surfaces externes de l'enveloppe du bâtiment ont des gains de chaleur différents, le toit du bâtiment est chauffé par les radiations solaires du lever au coucher du soleil, alors que les murs verticaux de diverses orientations sont parfois ombragés. La différence, dans les radiations solaires directes des murs externes, dépend de leurs azimuts (Mingfang T., 2002). Approximativement, il est déterminé que le gain de chaleur à travers une surface horizontale , en été, est le double par rapport à une surface d'orientation Sud et d'une fois et demi supérieur à celui des surfaces d'orientation Est et Ouest. Par contre, en hiver, il est supérieur d'un tiers

de gain d'une surface d'orientation Sud et de deux tiers de celui d'orientation Est et Ouest (Ekaterini Eumorfopoulou et al, 1998).

En l'absence de rayonnement solaire, les régimes de température, de surface des parois d'orientation quelconque, sont plus au moins parallèles à ceux de l'air extérieur. La température de la toiture peut être inférieure de plusieurs degrés à celle de l'air ambiant, du fait de la perte de chaleur par rayonnement de grande longueur d'ondes. Cela démontre que l'influence de la température de l'air ambiant est indépendante de l'orientation. Cependant, sous l'exposition au rayonnement solaire, qu'il soit direct, diffus ou réfléchi, la température de ces surfaces augmente proportionnellement à la quantité du rayonnement absorbé, qui diffère selon l'orientation de la surface et selon son facteur d'absorption dépendant, à son tour, de la couleur de la surface externe. Les effets quantitatifs des variations de vitesse du vent, sur l'apport de chaleur par convection, ne sont pas très grands. L'influence de l'orientation des surfaces sur les amplitudes de l'élévation de la température dépend de la capacité calorifique et de la résistance des murs. Avec une capacité calorifique, et surtout une résistance élevée, elles sont moins influencées par l'orientation que ces derniers sont faibles.

La quantité d'énergie absorbée par une paroi d'un bâtiment ne dépend pas seulement de l'intensité des radiations solaires, mais aussi de la couleur de cette surface. Chaque surface possède un facteur d'absorption "a". La couleur d'une surface donne une bonne indication de son facteur d'absorption pour le rayonnement solaire, qui décroît avec la clarté de la couleur : il varie entre 0 et 1 (ou bien en %).

L'expérience effectuée par Givoni, concernant une comparaison entre les températures des surfaces externes orientées vers les quatre directions cardinales avec deux couleurs différentes, le gris et le blanc, a révélé des différences dépassant 23° dans les températures des murs gris selon diverses orientations, tandis que pour les murs à la chaux blanche, les différences étaient toutes inférieures à 3°. Donc il existe une considérable interaction des effets entre l'orientation et la couleur sur le réchauffement des parois extérieures : pour un facteur d'absorption faible, l'influence de l'orientation sur les températures internes est moins significative que pour un facteur élevé (Givoni, 1978).

II.4. TYPES DE CLIMATS

Les climats régnant autour du globe sont principalement influencés par l'échauffement de l'énergie du soleil, des masses de la terre et d'eau. Au niveau régional, le climat est influencé par l'altitude, la topographie, les modèles des courants de vents et d'océans, la

géomorphologie et le modèle de la végétation. En conséquence, les régions tropicales peuvent être divisées en beaucoup de différentes zones climatiques. Une classification très complète basée sur le climat et le paysage est donnée par un scientifique soviétique L.S.Berg. Il distingue douze types de climat : 1-forêt tropicale humide. 2- forêt tropicale, de savane. 3-le désert tropical. 4- forêt subtropicale. 5-méditerranéen. 6-désert montropical. 7-steppe. 8- région de mousson, de latitude modérée. 9- forêt à feuilles caduques de latitude modérée. 10-taïga. 11-toundra et 12-les régions froides. Une autre classification du climat tropical est déterminée par le scientifique Anglais G.A. Atkinson, elle est basée sur les conditions thermiques et d'humidité qui prédominent au cours de toute l'année. Il a distingué six types de climats ; chaud aride, chaud humide, montagne, désert maritime, mousson et océanique (Rimsha A. N. 1982)

Plusieurs systèmes de classification basés sur la végétation sont développés. Le plus connu et le plus utilisé est celui de Köppen dont la version originale est datée de 1900. Une version légèrement modifiée a intégré la précipitation annuelle pour distinguer des zones et la température moyenne mensuelle pour distinguer d'autres (figure II.30). Mais une classification basée sur la végétation ou sur la précipitation et la température ne répond toujours pas aux besoins des concepteurs qui cherchent à évaluer le confort thermique régnant dans une région. Pour une classification liée à la conception bioclimatique, les paramètres minimums qui doivent être inclus sont l'humidité, la température et la gamme de température (Evans, M 1980).

D'autres classifications sont basées sur l'architecture vernaculaire, Dolfus (1954) a développé une classification basée sur la relation entre des types de constructions qui sont identifiés par leurs toits et les caractéristiques thermiques et de précipitation des zones. Fitch et Branch (1960) ont élaboré une division basée sur l'analyse des performances de l'architecture vernaculaire en relation avec le climat, et Givoni (1963) a proposé une division climatique des USA et du Canada en se basant sur une analyse des climats et des exemples de l'architecture vernaculaire, quoique le climat n'est pas toujours été le facteur déterminant de l'architecture vernaculaire (Cook Jeffrey, 1996)

Beaucoup de secteurs existent avec des climats différents ou combinés. Les conditions locales peuvent également différer sensiblement du climat d'une région, selon la topographie, l'altitude et les environnements, qui peuvent être naturels ou artificiels. La présence des conditions favorables ; des surfaces d'eau, vent local, urbanisation, altitude, et la végétation peuvent tous influencer fortement le climat local (Intestin et al, 1993), car les dispositifs de

chaque zone sont différents : il est évident que ceci aura comme conséquence différents problèmes et solutions, par conséquent différentes :

Du point de vu de la conception des bâtiments, et tenant compte des facteurs influant sur une conception bioclimatique, une classification des types climatiques développés par Miller a été modifiée par Givoni pour distinguer les groupes climatiques suivants :

a) Climats chauds :

1. Sec et chaud : désertique.
2. Chaud et humide : équatorial et tropical maritime.
3. Sec, chaud et humide : tropical continental et mousson.

b) Climats tempérés chauds :

4. Type moyen occidental.
5. Type moyen oriental.

c) Climats tempérés froids :

6. Tempéré froid continental.
7. Tempéré froid maritime.

d) Climats froids :

8. Continental froid : Sibérien.
9. Froid maritime : Norvégien.
10. Froid désertique.
11. Arctique (Givonie, 1978)



LEGENDE :

- | | |
|----------------------------|-------------------------|
| A- Équatorial. | BW- Désert. |
| C- Tempéré. | BS- Steppe. |
| D- Froid tempéré | H- Climats de montagne. |
| E- Arctique et subarctique | |

Figure II.30. Zones climatiques selon la division modifiée de Köppen. Source : Evans. M, 1980.

II4.1. CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES ET DISTRIBUTION GEOGRAPHIQUE DU CLIMAT CHAUD ET SEC

On rencontre ce climat entre 15° et 35° au Nord et au sud de l'équateur, (Evans. M, 1980) dans les régions subtropicales d'Afrique, d'Asie centrale et occidentale, d'Amérique du Nord-Ouest et du Sud et en Australie centrale et occidentale (Givoni, 1978). Il est caractérisé par :

✓ TEMPÉRATURE DE L'AIR :

Un climat sec et chaud est caractérisé par des températures élevées causées par le rayonnement solaire direct et intense, qui peuvent s'abaisser de 15° à 25°C durant la nuit. (Evans M., 1980) Les fluctuations de la température de l'air sont bien sûr beaucoup plus faibles mais, malgré tout, une amplitude diurne de 20 °C n'est pas rare. Les températures durant un jour d'été sont aux alentours de 40° à 50 °C, et la nuit, elles sont comprises entre 15° et 25 °C (Givoni, 1978).

✓ HUMIDITÉ ET PRÉCIPITATION :

L'humidité relative évolue avec la température de l'air et peut varier de 20% dans l'après midi, jusqu'à plus de 40% la nuit. Les pluies sont peu abondantes et varient de 50 mm à 150 mm annuellement (Fardeheb.F, 1987).

✓ RADIATION SOLAIRE :

Le rayonnement solaire est direct et intense, supérieur à 800 ou 900w/m² sur une surface horizontale, il est en outre augmenté par le rayonnement réfléchi par les surfaces arides et de couleurs claires voisines (Givoni, 1978).

✓ VENTS:

Les vents sont locaux et chauds, de vitesse généralement faible le matin, plus intense vers midi et maximale l'après midi. Par ailleurs, il n'est pas rare qu'ils soient accompagnés de tourbillons de sable et de poussière.

II.4.1.1. PROBLEMES ET EXIGENCES DE CONFORT PHYSIOLOGIQUE DANS UN CLIMAT SEC ET CHAUD

Dans un climat chaud et sec, les conditions de confort physiologique sont difficiles à satisfaire. Elles ne peuvent généralement être assurées que si la conception des bâtiments est adaptée aux conditions de l'été. Dans ce cas, la principale considération est la réduction de l'impact du rayonnement solaire sur les bâtiments et les espaces extérieurs, là où les vents secs et chauds s'accompagnent de tempêtes de poussières. Le contrôle du vent doit être axé sur la protection plutôt que sur la recherche de la meilleure ventilation.

Dans les régions à climat sec et chaud, la dissipation du surplus de chaleur du corps humain se fait principalement par la sudation qui est le résultat de l'évaporation de la sueur. Cette évaporation aide à maintenir un certain degré de confort satisfaisant (Szokolay, 1980 ; Baker, 1987). L'efficacité de ce mode de déperdition thermique peut être contrariée par les conditions du milieu, en particulier, par une humidité relative élevée dans l'air et un mouvement d'air insuffisant. avec une faible humidité, c'est le cas de notre contexte climatique. En se basant sur ces réalités et sur celles qui indiquent que la faible humidité favorise le refroidissement par évaporation, même par air calme, on comprend l'effet que la ventilation naturelle, pendant le jour, est indésirable dans des conditions d'un climat chaud et sec: elle augmente la charge physiologique du corps par une augmentation de son gain de chaleur convective. L'effet de l'aération et de l'apport d'air frais peut être assuré pendant la nuit mais avec une vitesse d'air optimale de 1m/s et acceptable jusqu'à 1,5m/s (Givoni, 1978).

Vu que le confort est une sensation subjective qui diffère d'un homme à un autre selon le sexe, l'état de la santé, le poids et la taille du corps, le revêtement, l'activité exercée et l'acclimatement (Givoni, 1978 ; Szokolay, 1900), plusieurs études ont été menées pour déterminer les conditions de confort dans un climat chaud et sec.

Dans la corrélation des données physiques de l'environnement et les réponses subjectives des individus dans ce qui est défini en indices théoriques, Nicol et Sharma ont été d'accord que, dans des climats chauds et arides, la température de l'air et la température résultante sont les seules variables qui affectent largement les résultats de votes pour le confort. Ils affirment que ni l'humidité relative, ni la vitesse de l'air n'ont montré un impact significatif sur la sensation de confort thermique. Ils précisent et soutiennent que l'humidité relative, dans les climats chauds et secs, a des valeurs assez faibles pour affecter l'évaporation du corps humain et, par conséquent, pour assurer un refroidissement qui influe sur le confort

thermique (Hanna R., 1997). Par contre Givoni donne des valeurs limites de confort, indépendantes de l'humidité relative, mais liées au niveau de la ventilation de l'espace pendant la nuit où elle est exigée. Il limite le confort du jour à une température ambiante de 27°C à 29°C lorsque la ventilation n'est pas envisageable et à une température de 24° -25°C pendant la nuit avec une ventilation faible ou efficace (Givoni, 1978). D'autres valeurs d'une température optimale pour le confort, dans des conditions d'un climat chaud et sec, ont été suggérées par Nicol et Sharma dont Nicol donne une valeur de 32°C et Sharma suggère des valeurs près de 27,5°C (Hanna R., 1997).

II.4.1.2. STRATÉGIES CONCEPTUELLES ET TECHNIQUES DE RÉGULATION THERMIQUE DANS UN CLIMAT CHAUD ET SEC

Les caractéristiques climatiques d'un climat chaud et sec se manifestent en tant que source d'inconfort pour les habitants de ces régions. Afin d'y améliorer les conditions de vie, plusieurs stratégies impliquent l'action sur les paramètres suivants :

- Les radiations solaires.
- Les températures.
- La ventilation.

Ces stratégies peuvent être résumées sous forme de deux alternatives :

- Protection contre les surchauffes.
- Approvisionnement en fraîcheur naturelle.

Le schéma qui suit présente les stratégies de base pour le refroidissement (Figure II.31), d'après Anupama Sharma et al (2003), ces stratégies sont présentes dans plusieurs livres et articles et en détail, notamment, dans le guide de l'énergie solaire passive de Edward Mazria (1981) et l'habitat bioclimatique de Watson D. et Camous R. (1983).

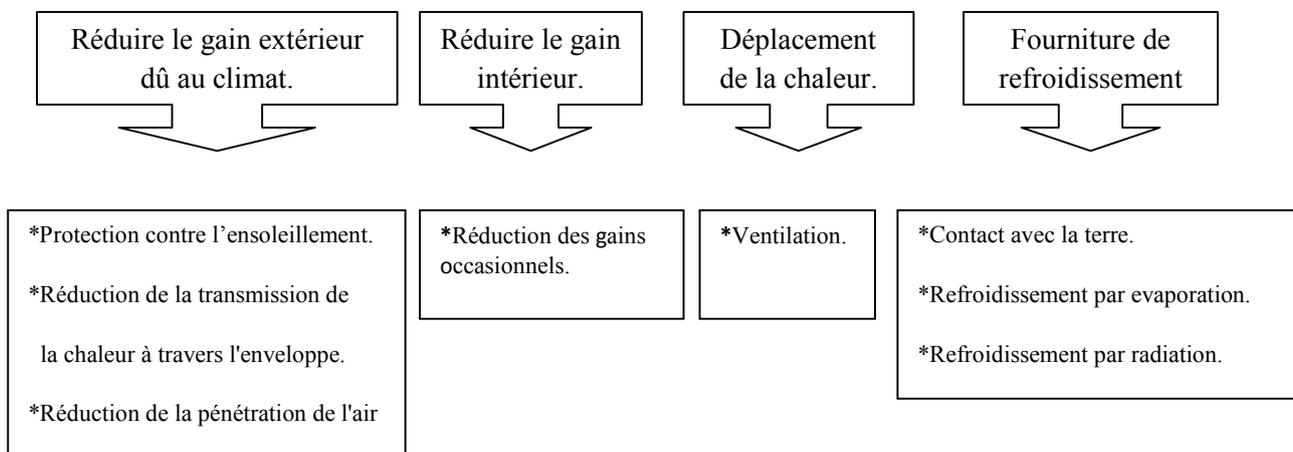


Figure II.31. Stratégie de base pour le refroidissement.

Pour atteindre ces objectifs, les stratégies conceptuelles consistent à :

- * Limiter les transferts de chaleur par conduction.
- * Déphaser les variations périodiques de température.
- * Favoriser la ventilation.
- * Limiter les gains solaires.
- * Favoriser le refroidissement par rayonnement nocturne.
- * Favoriser le refroidissement par évaporation (Watson D. et Camous R., 1983).

II.4.1.2.1. LIMITER LES TRANSFERTS DE CHALEUR PAR CONDUCTION

Dans les échanges thermiques avec l'environnement, la superficie de l'enveloppe est un facteur important au même titre que sa nature. Les caractéristiques thermiques des matériaux de construction, qui constituent l'enveloppe, jouent un rôle capital dans les échanges thermiques avec l'environnement.

Pour limiter les transferts de chaleur par conduction, les grandeurs mises en jeu sont la conductivité thermique et la capacité calorifique. Les matériaux de faible conductivité thermique peuvent s'opposer à la transmission de la chaleur résultante de l'absorption du rayonnement solaire. Mais dans les régions chaudes, la mise en œuvre de la résistance thermique seule, pour améliorer les conditions de confort, n'est pas suffisante, elle se limite aux régions où le maximum de température extérieure ne dépasse pas environ 30°C. Son recours à une grande capacité calorifique des matériaux, les possibilités de réduction des températures intérieures diurnes sont assez limitées. Ainsi, sous des variations périodiques des conditions extérieures, avec des différences de température et une résistance thermique donnée, le flux de chaleur transmis à l'intérieur du bâtiment décroît lorsque la capacité calorifique de sa structure croît (Givoni, 1978).

Avec l'utilisation d'une enveloppe épaisse, les températures superficielles intérieures seraient relativement constantes et proches des valeurs moyennes sur les surfaces extérieures. Ces valeurs sont particulièrement plus élevées pour un toit non blanchi que pour les autres surfaces, ce qui constitue pratiquement une source permanente d'échauffement de la maison (Cheng V. et al, 2005 ; Givoni, 1978) (Figure. II.32). Par conséquent une isolation des parois

les plus exposées au rayonnement solaire est prioritaire, mais elle n'est pas moins appréciable pour les parois verticales.

En contre partie, la chaleur stockée par une structure de grande capacité calorifique est restituée la nuit et présente des températures ambiantes nocturnes plus élevées que celles de l'extérieur. L'isolation thermique pourrait, toutefois, altérer la déperdition de chaleur, dans la mesure où elle amortit l'évacuation du flux de chaleur intérieur. Mais en réalité, ces inconvénients sont largement pondérés par l'effet de la ventilation nocturne, et la qualité thermique de l'ambiance intérieure nocturne est plus conditionnée par la ventilation que par les déperditions par conduction (Watson D. et Camous R., 1983; Mazria E., 1981; Givoni, 1978).

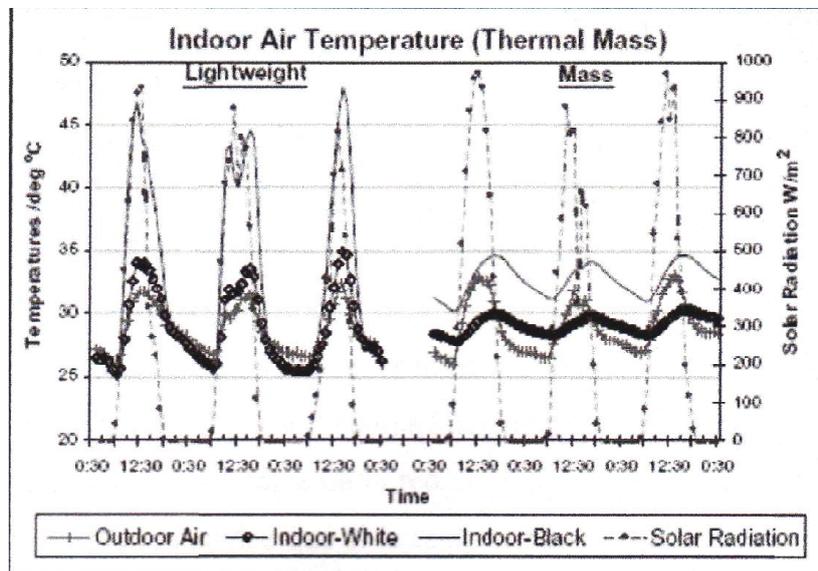


Figure. II.32. Effet de l'inertie thermique sur la température d'air intérieur. Source : Cheng. V et al, 2005, p. 531.

II.4.1.2.2. DÉPHASER LES VARIATIONS PERIODIQUES DE TEMPÉRATURE

Les climats chauds et arides se caractérisent par de grandes amplitudes journalières, des rayonnements solaires intenses, une gamme de température journalière élevée et une basse humidité. La grande différence entre la température de jour et celle de nuit la moins élevée, dans les régions arides, a exigé le recours à l'inertie thermique pour retarder la transmission de chaleur de sorte qu'elle atteigne l'intérieur dans la soirée et abaisser la température intérieure diurne. En même temps, la chaleur restituée la nuit sera évacuée par la ventilation

nocturne. Le temps que met l'onde thermique pour traverser un mur de façade prend le nom de retard (Shaviv Edna et al, 2001 ; Mazria E., 1981).

Le délai devrait être au moins de huit heures et les délais compris entre 8 heures et 4 heures sont encore avantageux. De plus longs délais n'amélioreront pas nécessairement les conditions internes puisque le gain de la chaleur, après un retard entre 20 et 30 heures, atteindra l'intérieur avec le gain de rayonnement solaire du jour suivant. Ce qui fait que l'ambiance intérieure n'est pas sensiblement améliorée quand le délai est augmenté au delà de huit heures (Evans M., 1980).

Une construction possédant une capacité calorifique élevée permet donc, dans une considérable, de contrôler les conditions thermiques intérieures dans les régions à amplitude de températures diurnes et à rayonnement solaire intense.

II.4.1.2.3. FAVORISER LA VENTILATION

Le mouvement d'air est important pour l'apport permanent d'air frais et l'évaporation par ventilation des polluants atmosphériques pour tous types de climats. Le taux de ventilation doit choisi afin de contrôler la température intérieure, la pollution et le mouvement d'air (Fordham .M, 2000).

Mais dans les climats chauds et secs, pendant le jour, la ventilation n'est pas nécessaire le refroidissement par évaporation du corps humain et elle est indésirable pour les échanges Je chaleur convective. Il est souhaitable de la réduire à un minimum (Givoni, 1978). En réalité, la ventilation n'est pas recommandée que si la température de l'air extérieur est plus basse que celle de l'air intérieur (Fordham M., 2000). Dans le cas des régions arides et chaudes, durant la nuit, la ventilation nocturne peut, donc, constituer un moyen de rafraîchissement intéressant.

La ventilation nocturne agit sur :

- L'évacuation des surchauffes dues aux apports solaires retardés ou internes.
- Le refroidissement de la masse du bâtiment, Dans les régions à climat chaud et aride, les effets cumulés de la ventilation nocturne et de l'inertie thermique sont très avantageux. La masse des murs se refroidit au court de la nuit sous l'effet de la ventilation et par rayonnement nocturne de la toiture, puis, au cours de la journée, elle absorbe la chaleur de

l'ambiance intérieure, tout en continuant à présenter des surfaces relativement fraîches. La maison passive fonctionne alors de façon inversée. On ouvre le bâtiment à la fraîcheur de la nuit quand les températures sont au plus bas dehors pour stocker cette fraîcheur dans l'inertie thermique intérieur des locaux ; puis on le tient fermé le jour suivant pour se protéger de la chaleur et conserver le plus longtemps possible la fraîcheur des murs, cloisons et planchers et donc de l'ambiance intérieure (Mazria E., 1981). Les possibilités pour stocker l'énergie aident également en hiver, puisque la chaleur d'un jour ensoleillé d'hiver peut être stockée dans les murs pour un lendemain froid (Shaviv Edna, 2001).

II.4.1.2.4. LIMITER LES GAINS SOLAIRES

Dans des climats chauds et secs, où le ciel est presque toujours clair, les radiations directes que reçoit une surface horizontale présente 90% des radiations solaires. La proportion restante de 10% est due au rayonnement diffus qui se produit pendant qu'une certaine proportion de rayonnement solaire est dispersée en traversant l'atmosphère (Evans M., 1980). La quantité totale d'énergie interceptée par une surface comprend, non seulement le rayonnement direct, mais aussi les rayonnements diffus et réfléchis (Mazria E., 1981). Il est aussi démontré que la radiation solaire augmente le besoin de refroidissement de 25% (Mingfang T., 2002).

L'intensité du rayonnement diffus du ciel tombant sur une surface verticale, tel que le mur, sera la moitié de la valeur tombant sur une surface horizontale, puisque le mur est seulement exposé à la moitié du ciel. Ce rayonnement diffus tombera sur toutes les surfaces verticales, pas simplement celles exposées au rayonnement direct, mais aussi les surfaces ensoleillées qui recevront de plus grandes quantités. Les surfaces verticales recevront également le rayonnement diffus reflété par la terre (Bouvier F., 1989 ; Evans M., 1980 ; Mingfang T., 2002).

Ces rayonnements solaires directs ou diffus reçus par les surfaces externes de l'enveloppe architecturale sont, soit absorbés, soit réfléchis, (le cas des matériaux opaques), comme ils peuvent être aussi transmis dans le cas des matériaux transparents. Une très simple équation permet d'exprimer la relation entre les parties absorbées (a), réfléchies (r) et transmises (t) de l'énergie reçue : $a + r + t = 1$ (Givoni, 1978).

Donc, on peut contrôler les échauffements dus aux apports solaires en abritant le bâtiment du soleil et en premier lieu, les surfaces vitrées les plus exposées, ou tout au moins, en réduisant les surfaces de l'enveloppe exposées au soleil et par des choix convenables des matériaux de construction.

✓ *L'ombre comme stratégie de contrôle de l'apport énergétique solaire :*

Une protection contre les gammes à hautes températures, peut être établie par une réduction des surfaces externes et une protection de celles ensoleillées.

a. Application au niveau de la forme urbaine :

Au niveau de la forme urbaine, l'étroitesse des rues et la hauteur des constructions assurent un ombrage mutuel des façades. Selon l'orientation, ils peuvent également intercepter les rayons solaires bénéfiques en période froide. Il faudra également souligner que ces rapports entre la largeur des rues et la hauteur des constructions représentent une stratégie utilisée aussi pour protéger les espaces extérieurs ainsi que les bâtisses contre les vents, chauds, d'été et ceux, froids, de l'hiver (Fardheb, 1987; Belakhal, 1995).

b. Application au niveau de l'enveloppe et de détail de construction :

Lorsque l'on sait exactement comment le soleil se propage sur un bâtiment, cela permet de calculer avec précision l'ombre portée par des bâtiments voisins ou par l'environnement, et de savoir utiliser la forme physique d'un bâtiment pour contrôler l'énergie solaire.

Il est confirmé que par l'ombrage, on peut réduire le besoin en refroidissement des constructions de 23 à 89% ce qui affirme, d'autre part, une amélioration thermique de l'espace intérieur (Dubois M-C, 2001).

Par l'application de la "méthode des angles d'occultation" qui s'applique aux formes élémentaires telles que " l'auvent", les "joues latérales" et "le vis à vis", à partir desquelles il est possible de construire les diagrammes de transmission de la " loggia " ou du " patio ", on peut assurer la protection des parois (Izard J. L., 1994). On peut aussi assurer une protection des parois par des éléments plats :

Murs doubles : ils constituent une paroi additive à celle porteuse et pouvant être totalement opaque ou perforée.

Texture et décoration : le crépissage, l'appareillage des matériaux de construction peut aussi contribuer à ombrager les surfaces des murs (Belakhal, 1995).

✓ *Forme et orientation du bâtiment* :

« La forme optimale d'un corps de bâtiment correspond à celui qui lui permet de perdre 101 minimum de chaleur en hiver et d'en gagner un minimum en été. » (Mazria E., 1981).

Dans les expériences effectuées par Tang Mingfang, l'orientation optimale en été et en hiver, est le Sud, malgré que la forme cubique offre une surface minimale extérieure, la forme allongée dans la direction Est-Ouest est la forme optimale pour les conditions d'été et d'hiver. Plusieurs modèles de formes parallélépipédiques de même volume sont utilisés afin d'optimiser les proportions dimensionnelles pour une meilleure réponse thermique en été. Une comparaison des proportions (Q/Q_0) de rayonnement solaire reçu par la surface externe des divers parallélépipèdes, pendant la journée et par unité de surface Q , à celui du cube est mentionnée dans le tableau. 1, dont $P= H/W$, $X=L/W$ (Figure. II.33). Une réduction de 4% de gain thermique peut être atteinte en été avec un proportionnement optimal et ce, pour les parallélépipèdes (Mingfang T., 2002).

Dans l'étude de l'influence d'éléments climatiques et thermiques sur différentes formes de construction, Victor Olgyay a, aussi, conclu que :

- Le carré n'est pas la forme optimale, quelque soit la localisation de la construction.
- Toutes les formes allongées, dans la direction Nord-Sud, sont moins efficaces que la forme carrée.
- La forme allongée, dans la direction Est-Ouest, est la forme optimale dans chaque cas et pour tous les climats (MazriaE., 1981).

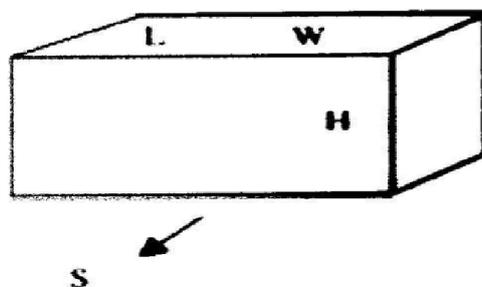


Figure.II.33. Présentation de la forme et de son orientation. Source : Mingfang Tang, 2002, p. 663.

✓ *Ouvertures :*

Dans des climats chauds, ou au moins pendant les saisons chaudes, la lumière directe du soleil devrait être exclue. L'éclairage excessif ne devrait pas exister pour deux raisons :

- La lumière du soleil, même lorsqu'elle est reflétée ou diffusée, peut élever les températures internes.
- La lumière forte peut causer l'inconfort visuel.

Dans les régions à climat sec et chaud, où les ciels nuageux sont très rares, les fenêtres devraient être aussi petites que possibles. Les techniques de prévision d'illumination indiquent qu'avec des surfaces raisonnablement réfléchissantes, une ouverture de 10% de la surface des murs externes donne une lumière proportionnée (50 lumens/m^2) dans une pièce domestique de $4 \times 4 \times 3 \text{ m}$. C'est l'équivalent environ de 8% de la surface couverte. Cette petite fenêtre devrait être placée de sorte que la vue principale à l'extérieur soit dirigée vers le ciel bleu. Une position élevée de la fenêtre permettra également à la lumière du soleil reflétée par la terre d'être reflétée par le plafond. Des fenêtres, à côté des murs internes, permettront également à la lumière d'être reflétée par ces murs, et ceci améliorera l'illumination de l'espace interne en évitant la lueur provoquée par la différence dans les niveaux de lumière (Evans M., 1980).

La quantité d'énergie traversant une baie vitrée dépend, pour une latitude donnée, de son environnement extérieur, son exposition, le *type* de vitrage utilisé et de la présence d'éventuels brise-soleils ou autres occultations.

- a. L'environnement commande la durée réelle de l'ensoleillement de la baie.
- b. L'exposition de la baie détermine la durée d'ensoleillement, mais aussi la répartition diurne et annuelle de l'énergie incidente, et donc celle de l'énergie transmise selon le type de vitrage.
- c. Le type de vitrage utilisé influe sur la quantité d'énergie transmise à l'intérieure par l'intermédiaire de la proportion du rayonnement incident qui est réfléchi et qui dépend de l'angle d'incidence.
- d. Le brise soleil est un dispositif destiné à régler la pénétration solaire à l'intérieur du bâtiment, ou même à l'empêcher en saison chaude. L'efficacité de ces dispositifs se mesure par le facteur d'occultation, qui

est le rapport de l'énergie transmise et de l'énergie incidente (Izard J. L., 1978).

II.4.1.2.5. FAVORISER LE REFROIDISSEMENT PAR RAYONNEMENT NOCTURNE

Le rafraichissement par rayonnement nocturne peut s'avérer un moyen efficace d'adaptation de l'architecture aux conditions d'ambiance chaude. C'est un moyen naturel qui dépend du facteur d'émission de la surface externe et des conditions atmosphériques : un ciel clair et sec, avec une température radiante basse, a généralement pour résultat d'optimiser ce mode de refroidissement. Le rayonnement est efficace surtout sur la toiture, qui est la surface la plus exposée au ciel.

Les températures nocturnes des surfaces, pouvant rayonner vers l'espace, sont de 2 à 6 °C inférieures à celles de l'air ambiant, et jusqu'à 8 à 9 °C par temps très sec et très calme (Bouvier F., 1989). On peut atteindre des meilleurs résultats de refroidissement par des matériaux d'une grande émissivité thermique dont la couleur ne constitue pas un indicateur (Givoni, 1979).

II.4.1.2.6. FAVORISER LE REFROIDISSEMENT PAR ÉVAPORATION

Le refroidissement, par évaporation, est employé sur une grande échelle pour refroidir l'air intérieur des bâtiments dans les régions arides. L'utilisation de l'eau dans une atmosphère chaude et sèche provoque son évaporation, et pour s'évaporer, l'eau a besoin de l'énergie pour se transformer de l'état liquide à l'état gazeux, ce qui provoque la réduction de la température de l'air et par conséquent son rafraichissement et son humidification.

II.5. CONCLUSION

Ce chapitre est considéré comme point de départ de la modélisation qui va être présentée ultérieurement. Il présente un rappel théorique des connaissances de base de l'architecture bioclimatique, issue d'une analyse bibliographique ; il vise le climat, le confort thermique, une définition du contexte climatique d'étude et des stratégies de régulation thermiques dans des conditions d'un climat chaud et sec.

CHAPITRE II

FORME ARCHITECTURALE

&

PERFORMANCES ENERGETIQUES

II.1. INTRODUCTION

Dans le travail de la conception architecturale, l'architecte doit proposer une forme architecturale adaptée à son environnement. Il doit rechercher une adéquation entre la conception et la construction de l'enveloppe habitée, le climat et l'environnement dans lequel l'habitat s'implante et les modes et rythmes de vie des habitants. Sous les climats tempérés, cette recherche d'équilibre s'exprime par deux grands principes : En période froide il faut favoriser les apports de chaleur gratuite et diminuer les pertes thermiques tout en permettant un renouvellement suffisant de l'air alors qu'en période chaude, il faut diminuer les apports caloriques et favoriser le rafraîchissement.

Pour arriver à cet équilibre, l'architecte travaille sur l'emplacement de la maison, son orientation, les volumes, les parois, les matériaux, les ouvertures....etc. Mais surtout, sur la forme de la conception qui doit être adéquate avec l'environnement entourant, offrant ainsi, des meilleures performances énergétiques.

Dans ce chapitre, nous présentons dans un premier temps les éléments du climat où nous exposerons quelques définitions issues de la littérature, utiles et nécessaire à la compréhension des chapitres qui vont être présentés ultérieurement. Dans un second temps, nous présentons les types des climats existants ainsi que leurs caractéristiques, en particulier le climat sec et chaud, où nous proposons quelques stratégies conceptuelle et technique de régulation thermique, dans le but est d'améliorer le confort dans ce type de climat.

II.2. LES ELEMENTS DU CLIMAT

On peut distinguer un ensemble d'éléments, et de facteurs climatiques rapportés en catégories (RAYNAUD, 1984) :

- Facteurs énergétiques : rayonnement, lumière, et température.
- Facteurs hydrologiques : précipitation, et hygrométrie.
- Facteurs mécaniques : vents, et enneigements.

Dans le paragraphe ci-dessous, on passera à la présentation de l'ensemble d'élément constituant le climat :

II.2.1. FACTEURS ENERGETIQUES

II.2.1.1. L'ENERGIE SOLAIRE

II.2.1.1.1. L'ensoleillement

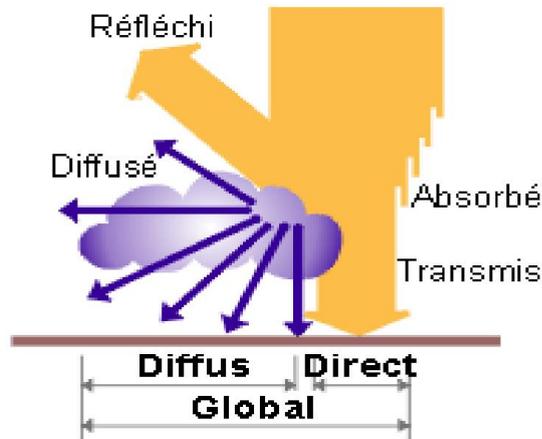


Figure. II.1. Bilan radiatif terrestre
Source : Liébard A, 2002, p26

Le soleil est la seule grande source d'énergie thermique régissant le système climatique de la Terre. Comme la surface de la Terre est courbe, la quantité de rayonnement solaire incident n'est pas la même partout, les tropiques recevant le plus de chaleur et les régions polaires le moins. C'est cette différence de température entre les tropiques et les pôles qui induit les vents et les courants, lesquels redistribuent la chaleur et l'humidité autour de la planète. Si la quantité d'énergie émise par le soleil est constante, celle qui atteint le sol est variable, en fonction de divers paramètres. Le rayonnement solaire est le moteur thermique réchauffant la surface terrestre. Avant d'atteindre la terre, le rayonnement solaire doit traverser une masse gazeuse d'environ 8 kilomètres d'atmosphère. Ce parcours va se traduire par une diminution sensible du flux énergétique, due à des phénomènes de diffusion, diffraction, absorption et réfraction. La terre reçoit la radiation solaire, qui se compose de la radiation directe (celle qui provient directement du soleil), la radiation diffusées par les nuages (radiation diffuse) puis la radiation réfléchies quand elles rencontrent les objets donc le rayonnement total arrivant sur une surface peut se diviser en trois composants $I = I_{Dir} + I_{dif} + I_r$. L'importance du rayonnement solaire reçu à la surface du sol dépend de la spécificité de chaque région latitude du lieu, le relief (montagnes, vallées, rivières, etc.).

Le soleil joue un rôle considérable dans la conception architecturale. Le mur de l'architecture classique, par ses détails, saillies, retraits, cimaises, larmiers, rejette la goutte d'eau et accroche l'ombre et la lumière, marquant dans la façade les positions de l'astre solaire.

II.2.1.1.2. Course du soleil

La représentation sphérique apparaît comme la plus commode pour déterminer la position du soleil dans le ciel. Celle-ci est repérée par deux angles fondamentaux, la hauteur et l'*azimut* (figure II.2) qui s'expriment à partir de la déclinaison δ .

La déclinaison du soleil δ est l'angle que fait, la direction du soleil avec le plan équatorial de la terre. (A. Khedim, 2005). Elle varie de $-23^{\circ}27'$ au solstice d'hiver à $+23^{\circ}27'$ au solstice d'été et elle est nulle aux équinoxes. (J.M.Chasser, 1984). Cette déclinaison est exprimée par la relation suivante :

$$\delta = 23,27 \sin [(j+284) 360/365]$$

Où :

j : est le jour de l'année compté à partir du 1^{er} Janvier, de l'angle horaire ω avec $\omega=15(12-t)$

t : est l'heure de la journée déterminé par la position du soleil dans le ciel du lieu, et de la latitude (*lat*).

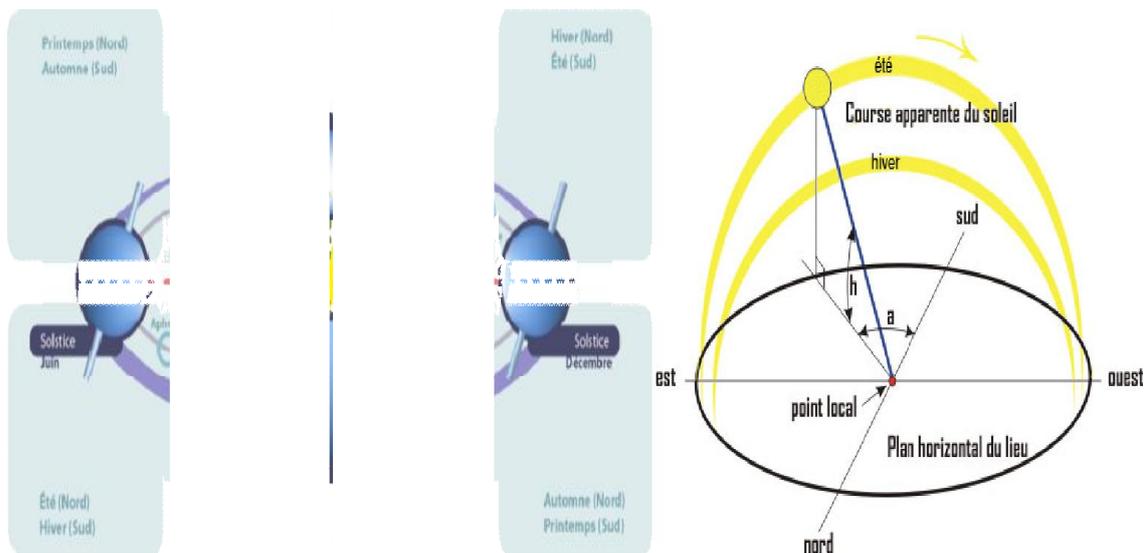


Figure II.2. Course du soleil. Source : JEAN P, LOIC H, et all, 2007.

- *Latitude* :

La latitude d'un point se définit par sa distance angulaire à l'équateur, mesurée en degrés par l'arc du méridien terrestre. La latitude prend donc la valeur 0 à l'équateur.

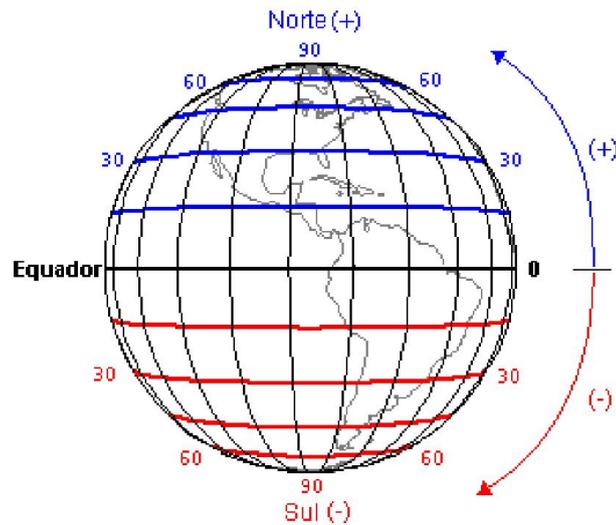


Figure II. 3. Latitude du soleil. Source : JEAN P, LOIC H, et all, 2007.

- *Hauteur du soleil :*

La valeur de la hauteur du soleil (h) est donnée par la formule : $h = \delta + (90 - lat)$.

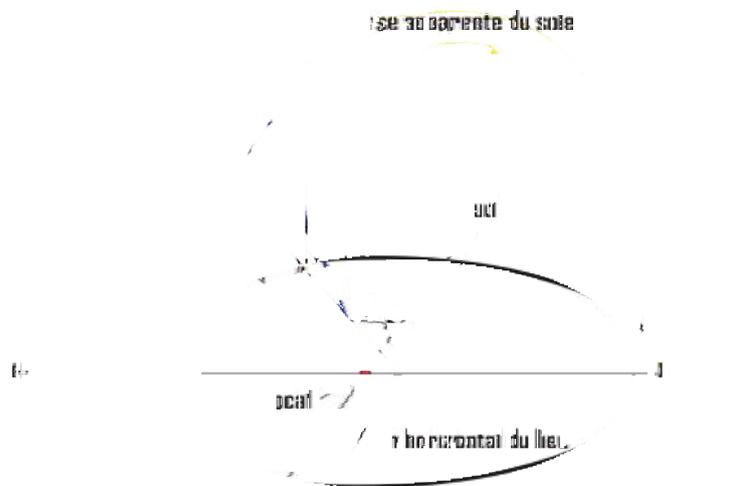


Figure II.4. Hauteur du soleil Source : JEAN P, LOIC H, et all, 2007.

- *Azimut :*

L'azimut du soleil est l'angle formé par le plan vertical du soleil et le plan méridien du lieu.

Noté Az , il est donné par la relation : $\sin(Az) = \cos(\delta) * \sin \omega / \cos(h)$,

où :

h est la hauteur du soleil, δ est la déclinaison et enfin ω est l'angle horaire, exprimé en degrés.

L'azimut du soleil au sommet de sa trajectoire apparente est égale à 0° . Cette position correspond au midi solaire.



Figure II.5. Azimut du soleil. Source : Francis Domain - INES Education - Savoie Technolac - BP258 - F73375 Le Bourget du Lac -Novembre 2007.

II.2.1.1.3. Diagramme solaire

Le diagramme solaire est un outil de représentation graphique de la course du soleil dans le ciel, qui pourra également être utilisé pour évaluer l'ensoleillement reçu par une surface, ainsi que l'effet des masques. Le repérage de la position du soleil à chaque instant s'effectuant au moyen de la hauteur, de l'angle verticale, de l'azimut et enfin de l'angle horizontale. Deux familles de diagrammes sont utilisées par les concepteurs pour représenter en un site donné les trajectoires du soleil :

- les projections cylindriques sur un plan vertical (système de coordonnées cartésiennes) (figure II.6)
- les projections sphériques sur un plan horizontal, axées sur le zénith. (Figure II.7)

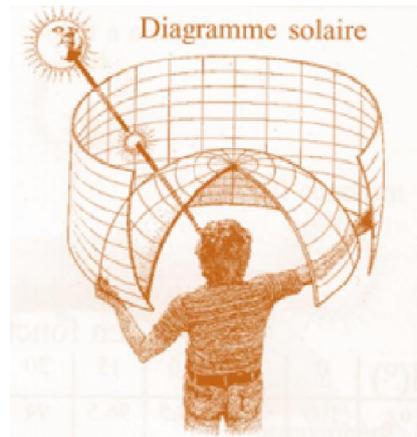


Figure II.6. Diagramme solaire. Source : JEAN P, LOIC H, et all, 2007.

- *Utilisation d'une projection sphérique équidistance :*

La figure II.7 représente un diagramme solaire en projection sphérique zénithale équidistante. Si le nord est positionné en haut de la feuille et l'est à droite, ce diagramme se rapproche d'une carte ou d'un plan de bâtiment classique, ce qui facilite son maniement en relation avec l'enveloppe du bâtiment.

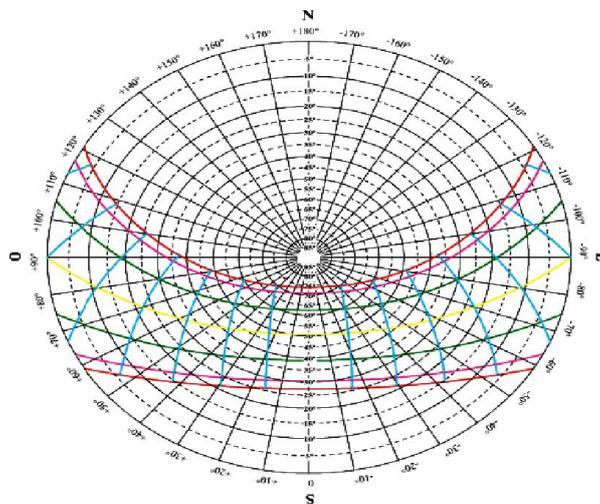


Figure II.7. Diagramme solaire établi pour la ville de Cagliari. Source : www.energieplus-lesite.be/energieplus.

Le zénith est au centre (pour $h=90^\circ$), l'horizon sur la circonférence ($h=0^\circ$). Une série de cercles concentriques intermédiaires, équidistants et gradués de 10° , représentent les iso-hauteurs ou angles verticaux. Les demi-droites ayant pour origine le point d'observation représentent les azimutes, angles horizontaux mesurés à partir de la direction du sud par les deux angles ainsi représentés. Hauteur et azimut en repéré la course journalière du soleil pour

les douze mois de la saison. Les positions horaires du soleil y sont précisées indiquant la durée du jour.

II.2.1.1.4. Le rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est le déplacement de l'énergie sous forme de radiations solaire, transmettant de la chaleur sous forme d'ondes électromagnétiques constituant le spectre solaire.

En traversant l'atmosphère, le rayonnement solaire subit une diminution d'intensité par absorption, réflexion, et la diffusion (Givoni. 1978). Ainsi l'ensemble de la radiation solaire estimé à 1.4 Kw/m² (communément appelé constante solaire) subit l'action suivante (Baker 1987) :

- 32% des radiations sont réexpédiées vers l'espace par réflexion lumineuse.
- 15% des radiations sont absorbées par l'atmosphère.
- 53% des radiations sont reçues par la surface de la terre, dont 47% sont absorbées par le sol, et 6% réfléchies.

II.2.1.1.5. Types de rayonnement solaire

➤ *Rayonnement direct :*

Rayonnement solaire est dit direct, quant il ne subit pas de déviations importantes dans sa cours à travers l'atmosphère. C'est le cas d'un ciel clair et dégagé de nuage.

➤ *Rayonnement diffus :*

On entend par là, le rayonnement qui, lors de son parcours, est dévié dans toutes les directions par des obstacles tels que : nuages, brouillard, molécules d'air, vapeur d'eau, ainsi que des aérosols.

➤ *Rayonnement global :*

Le rayonnement solaire parvient au sol soit directement (rayonnement direct), soit après diffusion par la voûte céleste et les nuages (rayonnement diffus).

Le rayonnement global est la somme de ces deux rayonnements, reçue sur une surface.

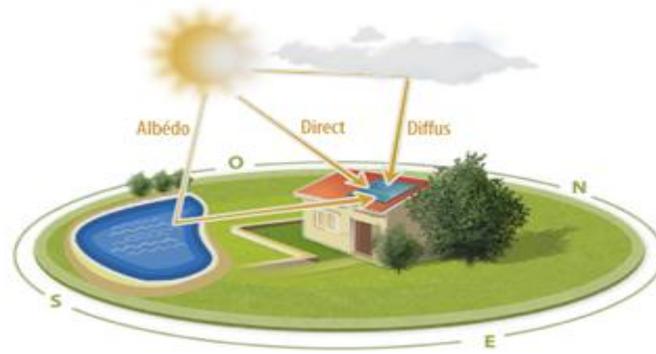


Figure.II.8. Le rayonnement global. Source : www.sigma-tec.fr/textes/texte_parametres_installation.html.

II.2.1.1.6. Les appareils de mesure du rayonnement solaire

Il existe plusieurs types d'appareils, utilisés pour mesurer le rayonnement, ces derniers sont :

- ✓ *Le pyrromètre* : Appareil permettant de mesurer la totalité du rayonnement arrivant sur la terre, y compris le rayonnement *infrarouge de grande longueur d'onde* émis par l'atmosphère et le sol. Il couvre donc des longueurs d'onde relativement importantes

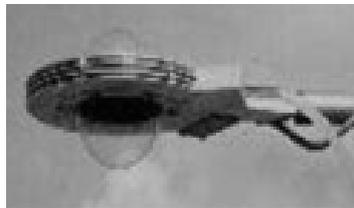


Figure II.9. Le pyrromètre. Source : Le gisement solaire, CNFPT – 21-23 février 2007 ;
Noémie Poize – Rhônalénergie-Environnement

- ✓ *Les pyranomètres d'Eppley* : Il permet de mesurer un rayonnement de tout un hémisphère, dans une longueur d'onde allant de 0.3 à 3 μm . Il ne capte donc pas les rayonnements infrarouges de grandes longueurs d'onde (dépassant 3 μm) qui sont notamment émis par l'atmosphère et le sol. (BERRICHON Jean-Damien).



Figure II.10. Le pyranomètre d'Eppley. Source : Le gisement solaire, CNFPT – 21-23 février 2007 ; Noémie Poize – Rhônalénergie-Environnement.

II.2.1.2. LUMIERE DU JOUR

« La qualité intérieure d'un espace dépend de la quantité d'espace extérieur qui entre par le truchement de la lumière et de la transparence. » Franck Lloyd Wright

L'éclairage des lieux de travail ou d'études, par exemples, est un facteur environnemental essentiel pour assurer au personnel des conditions de travail adaptées à la tâche qu'ils ont à effectuer ou facilité la tache d'enseignement. Il doit :

- faciliter l'exécution d'une tâche quelconque,
- assurer le bien-être

II.2.1.2.1. Définitions de base

Dans le but de se familiarisé avec quelques notions liées à la photométrie (la science de la mesure des intensités lumineuses) tels que : le flux lumineux, l'intensité lumineuse, luminance, l'éclairement lumineux et enfin le contraste. Nous présentons dans le tableau ci-dessous (tableau II.1) quelques définitions de ces notions:

Termes	Définitions	Symboles	Unités
<i>Flux lumineux</i>	La quantité d'énergie émise par une source sous forme de rayonnement visible dans toutes les directions par unité de temps.	F	Lumen (lm)
<i>Intensité lumineuse</i>	Mesure de l'importance du flux lumineux émis dans une direction donnée par une source ponctuelle.	I	Candela (cd)
<i>Luminance</i>	Mesure de l'aspect lumineux d'une surface éclairée ou d'une source, dans une direction donnée et dont dépend la sensation visuelle de luminosité. L'appareil de mesure : luminancemètre. 	L	cd / m ²

<p><i>Eclairage lumineux</i></p>	<p>La quantité de lumière reçue sur une surface d'un mètre carré. L'appareil de mesure : luxmètre.</p> 	<p>E</p>	<p>Lux (lx), 1 Lux = 1 Lumen / m²</p>
<p><i>Contraste</i></p>		<p>Appréciation subjective de la différence d'apparence entre deux parties du champ visuel vues simultanément ou successivement. Il peut s'agir d'un contraste de couleur, d'un contraste de luminance.</p>	

D'autres termes fréquemment utilisés dans ce domaine, qui sont :

- *Facteurs de réflexion d'une surface* : rapport du flux lumineux réfléchi au flux incident.

Ce facteur précise l'aptitude d'une surface à réfléchir la lumière incidente.

- *Plan utile ou plan de travail* : c'est la surface de référence constituée par un plan sur lequel s'effectue normalement le travail. (GHURBURRUN R, 2005)

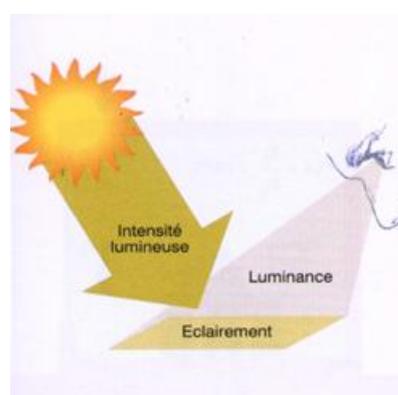


Figure II.11. Composantes de la lumière naturelle. Source : Ghurburrun Reena, Setta Faïza, Toulze Benjamin, (2005), l'éclairage des locaux de travail.

-*Eblouissement* : L'éblouissement peut être :

- *Direct*, quand la source lumineuse est dans le champ visuel ; s'il s'agit d'une source naturelle, le poste de travail doit être protégé du rayonnement solaire gênant.
- *Indirect*, lorsque l'éclairage est réfléchi sur des objets, des surfaces et le plan de travail.

Afin d'éviter cette gêne, provoqué par l'éblouissement, il est recommandé d'utiliser des surfaces mates ou des éclairages diffus à l'endroit de la tâche visuelle et même au niveau des sols et des plafonds.

II.2.1.2.2. Les conditions de ciel

Les nuages réduisent de façon significative l'éclairage. Par exemple, en été, le ciel est serein, l'éclairage horizontal au niveau de la mer peut atteindre les 100 000 lx. Par contre en hiver, caractérisé par un ciel couvert, l'éclairage horizontal extérieur est inférieur à 5000 lx.

II.2.1.2.3. Les modèles de ciel standard:

✓ *Le ciel uniforme* :

Cette situation correspond à un ciel couvert d'une couche épaisse de nuages laiteux où le soleil n'est pas visible. Sa luminance est donc constante en tout point du ciel à un moment donné.



Figure II.12. Ciel uniforme. Source: Aurore BONNET, Éclairage naturel L5C – 2009/2010.

Ecole d'architecture de Grenoble.

✓ *Le ciel couvert :*

Le ciel couvert, dit aussi ciel CIE (modèle établi par la Commission Internationale de l'Éclairage), correspond à un ciel de nuages clairs qui cachent le soleil.

La luminance au zénith est 3 fois plus élevée que la luminance de l'horizon.



Figure II.13. Ciel couvert. Source: Aurore BONNET, Éclairage naturel L5C – 2009/2010. Ecole d'architecture de Grenoble.

✓ *Le ciel clair :*

Le modèle du ciel clair représente la variation de la luminance en fonction de l'orientation et de la position du soleil, mais n'intègre pas le rayonnement solaire direct.

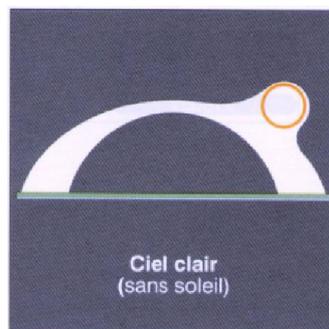


Figure II.14. Ciel clair. Source: Aurore BONNET, Éclairage naturel L5C – 2009/2010. Ecole d'architecture de Grenoble.

✓ *Le ciel clair avec soleil :*

Le ciel clair avec soleil prend en compte son rayonnement global, c'est-à-dire la somme des rayonnements directs et diffus.

Ce quatrième type de ciel correspond à un ciel serein dans lequel le soleil brille.



Figure II.15. Ciel clair avec soleil. Source: Aurore BONNET, Éclairage naturel L5C – 2009/2010. Ecole d’architecture de Grenoble.

II.2.1.2.4. Le facteur de lumière du jour (FLJ)

Comme la quantité de lumière naturelle peut varier de façon importante, on introduit un rapport de proportionnalité entre l’éclairement extérieur et celui disponible à l’intérieur du local. C’est ce qu’on appelle le **facteur de lumière du jour** (FLJ) et il se calcule ainsi :

$$FLJ = (E_{int} / E_{ext}) \times 100 \quad (\text{Daniel, Jean.P, Loïc. H, et All. 2007})$$

où :

E_{int} = niveau d’éclairement horizontal à l’intérieur du local.

E_{ext} = niveau d’éclairement horizontal extérieur en site dégagé.

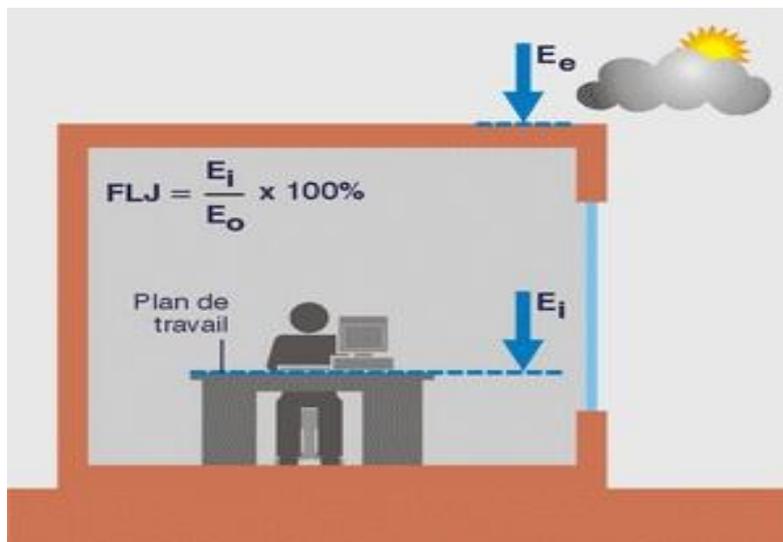


Figure II.16 – Facteur de lumière du jour. Source : (Daniel, Jean.P, Loïc. H, et All. 2007)

II.2.1.2.4.1. Le facteur de lumière du jour et fonction des bâtiments

Le FLJ diffère d’un endroit à un autre, par exemples :

✓ *Dans les bureaux :*

L'évolution récente de l'architecture tend à favoriser l'éclairage naturel, qui est par ailleurs obligatoire. On rectifie ainsi la tendance des décennies précédentes caractérisée par l'omniprésence de l'éclairage artificiel, souvent en service en pleine journée dans des bâtiments comportant de nombreux locaux aveugles ou des postes de travail très éloignés des fenêtres. Cette tendance actuelle s'accompagne, hélas, trop souvent, d'un contrôle (très) insuffisant des apports solaires thermiques et des éblouissements provoqués par le contraste excessif généré par les grandes baies vitrées.

✓ *Dans l'habitat :*

L'éclairage naturel est toujours l'éclairage principal du logement. Il doit être "contrôlé" : sa modulation doit être permise aux utilisateurs en fonction de l'activité désirée, de l'heure, du jour, de l'éclairement extérieur, d'où l'utilité des protections solaires variables (volets roulants, volets..).

✓ *Dans les locaux d'enseignement :*

L'éclairage naturel des classes est obligatoire, par contre les apports solaires directs sont généralement à éviter en raison de l'éblouissement provoqué. A contrario, dans les locaux de détente, les halls d'accueil, les circulations, où l'uniformité de l'éclairement n'est pas un critère décisif, les apports solaires directs peuvent participer à l'animation des lieux.

✓ *Dans les locaux sportifs :*

Même si l'éclairage naturel est souhaitable, l'éblouissement est toujours à éviter. (ARENE Agence Régionale de l'Energie).

Le tableau ci-dessous donne quelques exemples de l'ordre des grandeurs du FJL dans différentes zones :

<i>Type d'espace</i>	<i>FLJ</i>
Bureau éloigné d'une fenêtre.	0.5% à 1%
Bureau proche d'une fenêtre.	3% à 6 %
Musée de peinture.	0.6 à 1.8%
Patio vitré.	10% à 20%
Paroi verticale (ext).	30% à 50%
Surface en toiture.	100%

Tableau II.2- Ordres des grandeurs. Source : ARENE Agence Régionale de l'Energie.

II.2.1.2.4.2. Correspondances quantitatives et qualitatives du FLJ

Le tableau ci-dessous (tableau II.3) résume les correspondances quantitatives et qualitatives du facteur de lumière du jour du FLJ dans des zones supposées lointaines ou voisines des fenêtres.

Facteur de lumière du jour	Moins de 1%	de 1% à 2%	de 2% à 4%	de 4% à 7%	de 7% à 12%	Plus de 12%
	Très faible	Faible	Modéré	Moyen	Elevé	Très élevé
Zone considérée	Zone éloignée des fenêtres (distance supérieure à 3 fois la hauteur de la fenêtre)			Zone à proximité des fenêtres ou sus des lanternaux		
Impression de clarté	Sombre à peu éclairé		Peu éclairé à clair		Clair à très clair	
Remarques	Convient aux zones de circulation, stockage etc.		Convient aux locaux de travail		Attention aux éblouissements	
Impression visuelle	Cette zone semble séparée de cette zone					
Ambiance	Le local semble refermé sur lui même			Le local s'ouvre vers l'extérieur		

Tableau II.3. Correspondances quantitatives et qualitatives du facteur de lumière du jour. Source : Aurore BONNET, Éclairage naturel L5C – 2009/2010. Ecole d’architecture de Grenoble.

II.2.1.2.5. Les critères d’un éclairage de qualité

	<i>Minimal</i>	<i>Recommandé</i>	<i>Idéal</i>
<i>Bibliothèque</i>	300 lux	500 lux	750 lux
<i>Classe</i>	300 lux	500 lux	750 lux
<i>Cuisine</i>	300 lux	500 lux	750 lux
<i>Salle de réunion</i>	300 lux	500 lux	750 lux
<i>Bureaux (travaux généraux)</i>	300 lux	500 lux	750 lux
<i>Bureau (lecture et écriture continue)</i>	300 lux	500 lux	1000 lux
<i>Parking</i>	50 lux	75 lux	100 lux
<i>Couloir</i>	100 lux	150 lux	200 lux
<i>Réfectoires</i>	150 lux	200 lux	300 lux
<i>Sanitaires</i>	100 lux	150 lux	200 lux

Tableau II.4. Critères d’un éclairage de qualité – Optimiser L’éclairage Naturel – Février 2007. Guide pratique pour la construction et la rénovation durables de petits bâtiments, Recommandation pratique CSS06.

Un éclairage de qualité est caractérisé par les critères suivants :

- une bonne répartition (ou bonne uniformité). Ce critère n'est pas essentiel dans l'habitat.
- un niveau d'éclairement adapté à l'usage du local ou de la zone considérée.
- une absence d'éblouissement dû au contraste excessif des luminances. (ARENE Agence Régionale de l'Energie).

II.2.1.3. TEMPERATURE

La température est une grandeur physique mesurée à l'aide d'un thermomètre et étudiée en thermométrie. Dans la vie courante, elle est reliée aux sensations de froid et de chaud, provenant du transfert de chaleur entre le corps humain et son environnement. L'échelle de température la plus répandue est le degré Celsius, dans laquelle l'eau gèle à 0 °C et bout à environ 100 °C dans les conditions standard de pression.

(http://fr.wikipedia.org/wiki/Architecture_bioclimatique)

II.2.1.3.1. NOTIONS DE BASE

II.2.1.3.1.1. Propriétés thermiques des matériaux

a/ *Propriétés des surfaces:*

- L'absorptivité : L'absorptivité est la propriété d'une matière qui détermine sa capacité pour absorber l'énergie radiante, et comme la réflectivité, rangées entre 0 et 1. Il est la proportion entre le montant d'énergie radiante qui atteint une surface et le montant d'énergie absorbée par la surface.

L'absorptivité de la surface ou la proportion des rayonnements solaires incidents absorbée varie avec la longueur d'onde du rayonnement, qui, à son tour dépend de la température de la surface émettant le rayonnement.

- L'émissivité : La propriété de l'émissivité de la surface détermine sa capacité pour émettre l'énergie radiante. Il est mesuré comme une proportion de l'énergie radiante totale émise par un corps à celle émise par un parfait corps noir, les deux étant à la même température. Une émissivité de 0 signifie que la matière n'absorbe pas de radiations comme dans le cas d'un parfait réflecteur, alors qu'un parfait corps noir qui absorbe la totalité des radiations incidentes a une émissivité de 1. Donc absorptivité et émissivité sont égaux à la même température. L'absorptivité d'une surface est la même que l'émissivité pour le rayonnement de la même longueur d'onde.

b/ Propriétés thermiques des matériaux opaques :

- L'admittance : L'admittance d'une surface est le taux d'absorption ou d'émission de la chaleur de ou / à l'air lorsque la température de l'air est différente de la température de la surface. Il est exprimé en W/m^2K .
- Déphasage (time lag) : c'est la différence dans le temps entre les amplitudes (maxima ou minima) des températures journalières. Le déphasage représente le délai de transfert thermique de l'extérieur vers l'intérieure. Il est probablement le concept le plus intéressant à évoquer quand il s'agit d'étudier le comportement de l'enveloppe et la structure des bâtiments dans de conditions dynamiques.
- Transmission de l'air à l'air (U value) : c'est la capacité de transmettre une variation de température entre l'extérieur et l'intérieur. Il est exprimé en W/m^2K .
- Capacité thermique : ou capacité calorifique désigne la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température d'une unité de volume d'un matériau ou d'un mur par une unité de température. Ainsi la quantité de chaleur qu'un matériau peut stocker par unité de volume dépend de la capacité calorifique volumique (unité de volume, en $kcal/m^3 C^\circ$ ou $KJ /m^3 ^\circ C$ ou $Wh /m^3 ^\circ C$) et aussi de la capacité d'une unité de masse ou chaleur spécifique (en $kcal /kg ^\circ C$ ou $kJ/kg ^\circ C$). Avec les variations périodiques de conditions extérieures (température, rayonnement solaire, vent, humidité) et une résistance thermique donnée, le flux de chaleur transmis à l'intérieur d'un bâtiment décroît lorsque sa capacité calorifique croît.
- Conductance thermique : détermine la proportion du flux de chaleur qui traverse un élément de construction (mur ou toiture). Elle dépend de la conductivité du matériau et de l'épaisseur de la paroi. La conductance totale d'une paroi est l'inverse de la résistance : $K=1/R (W/m^3 ^\circ C)$.

II.2.1.3.1.2. Les transferts radiatifs

Un revêtement ou une peinture confèrent à un mur certaines propriétés optiques, qui influencent l'absorption du rayonnement solaire. Les propriétés optiques importantes du point de vue thermique sont l'absorption du rayonnement solaire et l'émission de chaleur par rayonnement infrarouge depuis la surface. Ces deux grandeurs correspondantes sont comprises entre 0 et 1.

L'absorption du rayonnement solaire incident par les parois opaque est calculée par un bilan thermique au niveau de la surface absorbante, en fonction du facteur d'absorption de cette

surface. Le rayonnement incident absorbé est reparti entre une quantité pénétrant et une quantité perdue vers l'ambiance extérieure. (Transfert radiatifs et convectifs). (Aide pléiade et confie).

Il entre dans l'échange avec le soleil, l'échange entre une personne et l'architecture qui l'abrite, et l'échange entre un édifice et le milieu qui l'entour. Le problème général des échanges par rayonnement est extrêmement complexe car chaque élément de surface d'un corps émet dans toutes les directions et reçoit de toutes les directions et de tous les lieux qui le voient. (Lavigne. P, 1994). D'ici un échange d'énergie par rayonnement électromagnétique entre deux surfaces nécessite la connaissance des facteurs de forme.

II.2.1.3.1.3. Les différents processus de transferts de chaleur

Le transfert de chaleur est produit selon les trois processus cités ci-dessous :

✓ *La conduction :*

Il s'agit du transfert de la chaleur d'un endroit à l'autre d'un milieu, sous l'influence d'un gradient de température, sans mouvements macroscopiques. La conduction est d'autant plus facilement observable que les mouvements macroscopiques sont inhibés. On l'observe donc principalement dans les solides.

Prenons l'exemple d'une barre métallique que l'on chauffe à l'une de ses extrémités: l'agitation thermique des atomes situés à l'extrémité chauffée de la barre augmente et se transmet de proche en proche dans la direction inverse du gradient thermique. Dans les métaux, la conduction fait intervenir les électrons libres qui les rendent bons conducteurs de la chaleur. En revanche dans les isolants, la conduction se fait mal. En résumé, il y a une forte correspondance entre les propriétés thermiques et électriques des solides.

La conduction s'observe aussi dans des fluides au repos mais elle est beaucoup plus faible que dans un métal. De plus, elle est souvent dominée par la convection.

✓ *La convection :*

La convection implique le transport de la chaleur par une partie d'un fluide qui se mélange avec une autre partie. La convection concerne exclusivement les fluides (gaz ou liquides) puisqu'elle prend sa source dans un transport macroscopique de matière.

La convection a lieu par exemple lorsque l'on chauffe une casserole d'eau. Le gradient thermique vertical est dirigé vers le bas. La masse volumique du fluide inférieur s'abaisse (car celui ci est plus chaud) et le fluide s'élève pour être remplacé par du fluide plus lourd situé plus haut.

La convection tente de s'opposer au gradient thermique par un mouvement de fluide.

Ce processus est associé à l'action de la gravité. On note que si l'on chauffe la casserole par le haut, le fluide chaud se situe au dessus du fluide froid et la convection est annihilée.

En gardant cette image dans la tête, on s'aperçoit immédiatement que la convection est importante dans l'atmosphère (les phénomènes de brises thermiques par exemple) puisque l'atmosphère est principalement chauffée par la Terre (nous verrons qu'il absorbe très peu le rayonnement solaire).

Cette animation présente une coupe verticale de l'atmosphère :

- Axe des abscisses : la surface terrestre
- Axe des ordonnées : la verticale

Les couleurs représentent le champ de température "dite potentielle" en Kelvin ($T(^{\circ}\text{C}) + T(\text{K}) - 273$). A l'instant initial, on introduit une bulle chaude (couleur rouge) dans une atmosphère stratifiée (le "chaud" est en haut : situation stable) En revanche, les océans chauffés par le haut présentent peu de phénomènes de convection.

✓ *Le rayonnement :*

Un corps chauffé émet de l'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique. Une des particularités de ce rayonnement dit "thermique" est qu'il peut se propager dans le vide.

Au niveau microscopique, ce phénomène ne peut s'expliquer en physique classique. Cependant, on retiendra comme image que plus la température du corps est élevée, plus l'agitation thermique responsable de l'émission est élevée.

Comme tout rayonnement électromagnétique, le rayonnement dit thermique est caractérisé par une densité d'énergie et un spectre (répartition de l'énergie suivant la longueur d'onde).

Le rayonnement thermique se déplace vers les courtes longueurs d'ondes quand la température du corps augmente. Ainsi le filament de tungstène utilisé dans les lampes à incandescence a une couleur caractéristique de sa température. A faible température, il est rouge orangé, puis jaune puis blanc. Le pic du spectre d'émission se déplace de la limite entre l'infrarouge et le visible (rouge) vers le milieu du visible (blanc).

Il faut finalement distinguer la nature des récepteurs de ce rayonnement thermique : certains le réfléchissent d'autres l'absorbent et le transforment en énergie interne pour rayonner à leur tour.

II.2.1.3.2. Le confort thermique:

L'homme a toujours construit pour s'abriter des aléas du climat. Nous pourrions à priori retenir quatre raisons essentielles qui ont poussé l'homme à construire:

- Sociale
- Symbolique
- Fonctionnelle
- Artistique

Mais il faut noter que l'objectif primaire de l'homme, à travers la construction, reste celui de "modifier le climat". D'où le concept du "*bâtiment comme élément modificateur du climat*". Le confort thermique a été défini comme étant la condition dans laquelle aucune contrainte significative n'est imposée aux mécanismes thermorégulateurs du corps humain. Le confort thermique permet l'obtention de conditions optimales pour tous les systèmes fonctionnels de l'organisme ainsi qu'un haut niveau de capacité de travail. (Mazouz S. Cours PG, 2008)

II.2.1.3.2.1. Les paramètres du confort thermique

Il existe différents paramètres de détermination du confort thermique, ces derniers sont :

1. La température ambiante de l'air T_a .
2. La température moyenne des parois T_{rm} .
3. L'humidité relative de l'air (HR), qui est le rapport exprimé en pourcentage entre la quantité d'eau contenue dans l'air à la température T_a (extérieur) et la quantité maximale d'eau contenue à la même température.
4. La vitesse de l'air, qui influence sur les échanges de chaleur par convection. Dans le bâtiment, les vitesses de l'air ne dépassent généralement pas 0,2 m/s
5. Le métabolisme, qui est la production de chaleur interne au corps humain permettant de maintenir celui-ci autour de 36,7°C. Un métabolisme de travail correspondant à une activité particulière s'ajoute au métabolisme de base du corps au repos.
6. L'habillement, qui représente une résistance thermique aux échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement. (figure II.17) (Yannas S., 1994 ; Evans M., 1998)

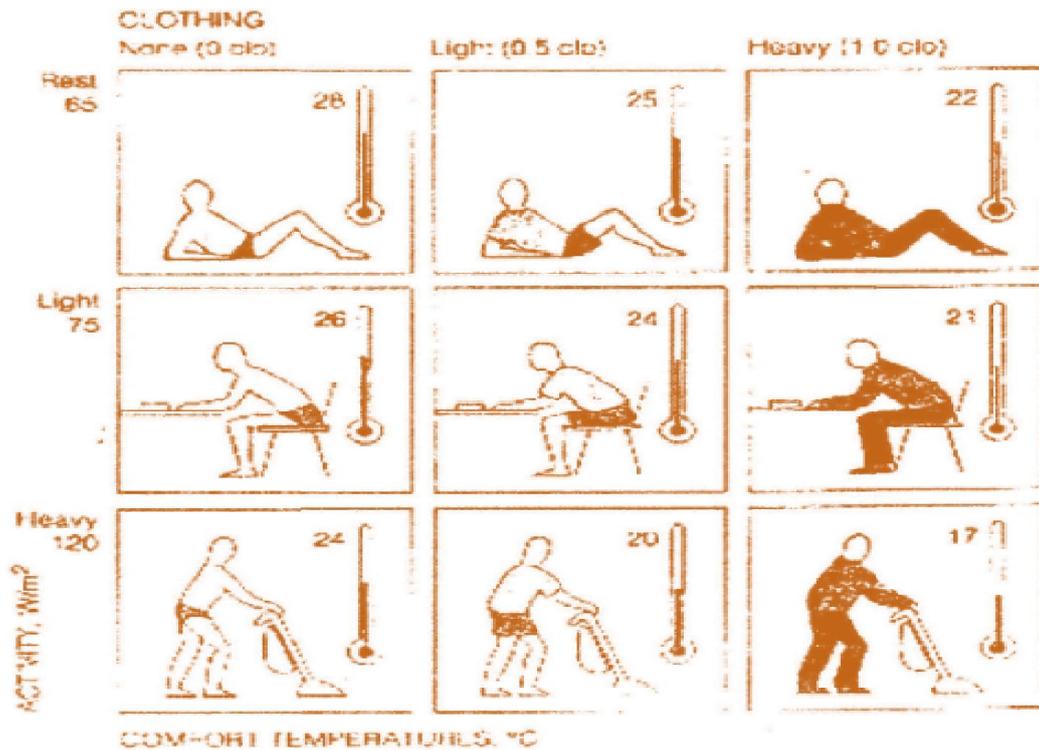


Figure II.17. Température de confort en fonction du niveau d'activité et d'isolement vestimentaire. Source : Yannas S., 1994, p. 11.

✓ *La température d'air intérieure (°C)*

La température de l'air ambiant est le premier paramètre à contrôler. Néanmoins, pris séparément, il ne peut donner une idée précise du confort prévalant dans une ambiance quelconque. Elle est mesurée par un thermomètre au bulbe sec. L'intervalle de confort varié entre 18 et 25 C°.

✓ *L'humidité relative (%)*

L'humidité couplée à la température ambiante donne déjà une idée du confort d'ambiance interne. On exprime l'humidité par le rapport de la vapeur d'eau contenue dans l'air à la quantité de vapeur d'eau que l'air saturé peut contenir à une température donnée.

L'intervalle de confort, bien que dépendant d'autres paramètres dont la température et la vitesse de l'air, peut aller de 20 à 80 %. Au-dessous de 20% l'air devient trop sec au point de provoquer des irritations aux lèvres et aux yeux notamment. Au-dessus de 80%, l'air devient trop humide et moite.

✓ *La température des parois (température radiante)*

La température des parois est une *température radiante* indicatrice important du confort intérieur d'un local. Car c'est cette dernière qui donne une idée sur la nature de l'isolation ou

de l'inertie thermique d'une paroi. Ainsi une paroi mal isolée présente souvent une température radiante trop inférieure par rapport à la température de l'air ambiant.

Ce qui conduit souvent à ressentir un inconfort dû à la différence de température en question. Il suffit d'imaginer, pour comprendre ce phénomène, à l'ambiance interne d'une tente implantée dans une région froide en plein hiver. Ainsi, dans ces conditions, même si l'on dispose d'un instrument de chauffage, on sent toujours le froid dans le dos.

Dans un bâtiment en dur, les désagréments peuvent être nombreux dont ceux causés par la condensation superficielle et ses effets néfastes sur les meubles, les revêtements intérieurs. Pour un architecte, la température radiante n'est très difficile à contrôler. il suffit de choisir des matériaux de construction et de les agencer de façon à obtenir une paroi présentant un coefficient de conductibilité thermique (k) valable et à toujours veiller à ce que la différence de température entre la paroi et l'air ambiant ne dépasse pas les cinq degrés Celsius (05 °C).

Importance de la température des parois

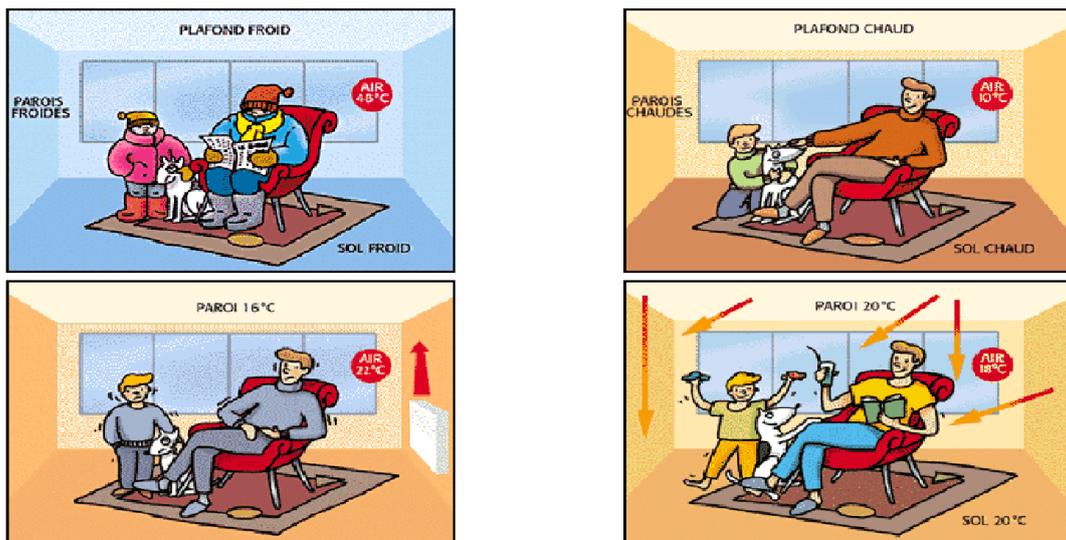


Figure II.18. Température radiante. Source MAZOUZ.S Cours de la post graduation 2008, Biskra.

✓ *Confort et vitesse de l'air*

La vitesse de l'air (et plus précisément la vitesse relative de l'air par rapport à l'individu) est un paramètre à prendre en considération car elle a une influence sur les échanges de chaleur par convection et elle augmente l'évaporation à la surface de la peau.

A l'intérieur des bâtiments, 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. A titre de

comparaison : se promener à la vitesse de 1 km/h produit sur le corps un déplacement de l'air de 0,3 m/s.

Le mouvement de l'air abaisse la température du corps, facteur recherché en été mais pouvant être gênant en hiver (courants d'air).

II.2.1.3.2.2. Stratégies d'évaluation du confort thermique

Il existe en littérature un certain nombre de méthodes dites d'évaluation du confort thermique, basées sur des expérimentations menées par différents chercheurs et mettant en œuvre différents paramètres de détermination du confort thermique. Plusieurs méthodes de combinaison ont été développées par les chercheurs pour la manipulation simultanée des variables du confort. Parmi ces méthodes, on peut citer:

- Température Effective
- Température résultante
- Indice de confort équatorial
- Indice de contrainte thermique
- Méthode du B.R.S.
- Température opérative
- PPD/PMV
- Diagrammes bioclimatiques (Givoni, Olgyay, Etc.)

✓ *Température effective (°C)*

La notion de température effective a été développée aux USA dès 1923 sur la base d'essais de confort ressenti portant sur un grand nombre de sujets: La *température effective* se détermine par un jeu d'abaques en fonction de la température d'air, de l'humidité de la vitesse d'air ainsi que du degré d'habillement. Cette température est déterminée de façon à procurer le même confort qu'une ambiance à 50% d'humidité relative et sans vitesse d'air.

✓ *Indice de la température Résultante*

L'indice de la température résultante, développé par Missenard (1948), est basé sur la supposition qu'une base plus solide pour un indice thermique serait formée par des expériences dans lesquelles l'équilibre thermique est réalisé entre le corps et l'environnement, afin que les effets d'humidité et du vent puissent être trouvés. Des résultats expérimentaux est issu un nomogramme pour le corps vêtu. Pour l'exemple de la température efficace, la valeur

de la température résultante lue du monogramme s'avère être 23.5°C. La rangée des facteurs climatiques couverte par la température résultante est une température de l'air comprise entre 20-45°C, une température humide comprise entre 18 et 40°C et une vitesse de l'air entre 0 et 3 m/s.

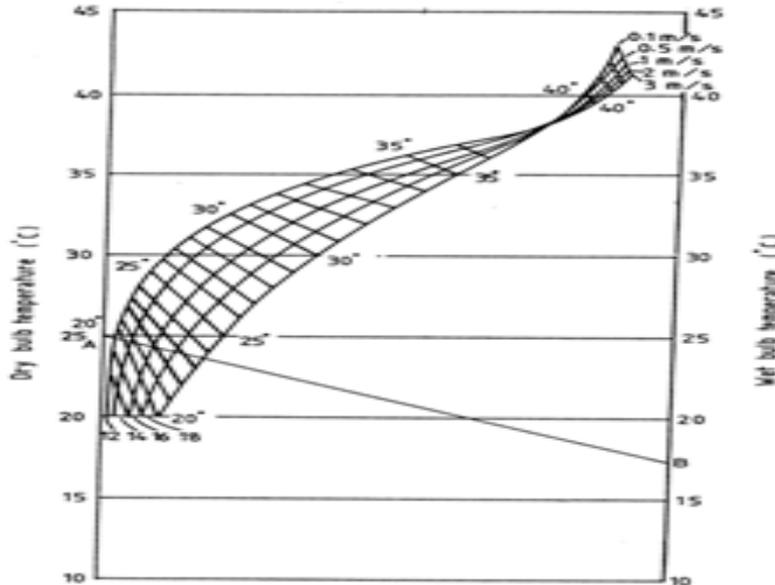


Figure II.19 - Indice de la température Résultante. Source : Mazouz S. Cours PG, 2008, Biskra.

✓ *L'indice de contrainte thermique*

L'indice de contrainte thermique (L'I.C.T) 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 (avec une température rectale élevée mais constante).

Au-dessous de la zone de confort, l'indice prend une valeur négative indiquant une contrainte frigorifique.

L'I.C.T. 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 sécrétée 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. La relation entre la sécrétion de sueur et l'évaporation requise dépend de l'efficacité de refroidissement de la sueur. Lorsque cette efficacité diminue le corps doit sécréter la sueur selon un taux plus élevé que celui qui

équivaldrait à la chaleur latente du refroidissement requis, dans le but d'obtenir ce refroidissement en dépit de la réduction d'efficacité.

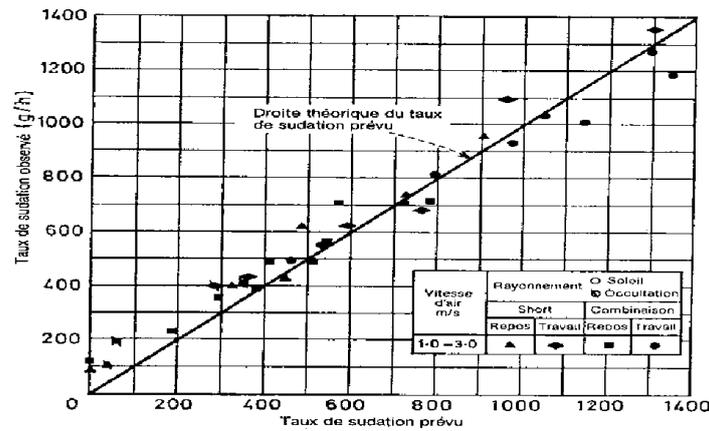


Figure II.20. Indice de contrainte thermique. Source : Mazouz S. Cours PG, 2008, Biskra.

✓ Diagrammes bioclimatiques

Parmi les outils les plus connus dans ce domaine on peut citer le Diagramme bioclimatique d’Olgyay, celui de Givoni, les Tables de Mahoney, et la Méthode de Szokolay.

Les diagrammes bioclimatiques sont des outils de synthèse qui permettent de choisir les grandes options architecturales à partir des exigences du confort thermique et des profils du climat extérieur. Le principe consiste à confronter sur un même graphique, «un polygone de confort», un ‘climogramme’ représentant les conditions extérieures et l’aire d’influence thermique et hygrométrique de certaines solutions architecturales ou de certains dispositifs.

Le diagramme bioclimatique combine plusieurs types de données dont:

- Les données du climat extérieur
- Les données du confort thermique
- Les solutions architecturales.

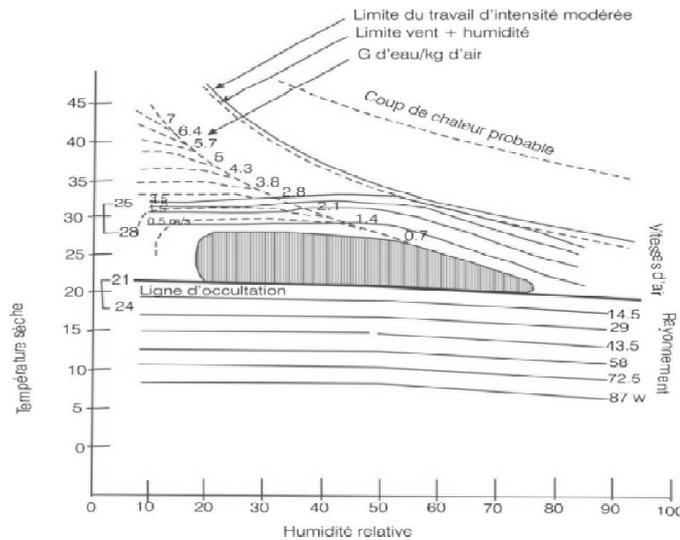


Figure II.21. Diagramme bioclimatique d'Olgay. Source : Mazouz S. Cours PG, 2008, Biskra.

Sur le diagramme, la zone de confort est au centre, avec les plages d'hiver et d'été indiquées séparément (prenant en compte les adaptations saisonnières). La limite inférieure de la zone est également la zone limite au-dessus de laquelle il est nécessaire d'introduire l'occultation solaire.

II.2.2. FACTEURS HYDROLOGIQUES

II.2.2.1. LES PRECIPITATIONS

Les précipitations sont produites par le phénomène de condensation de l'air dans les couches supérieures de l'atmosphère, sous forme de nuages contenant des gouttelettes d'eau, l'air s'élevant de plus en plus haut, le poids des gouttelettes augmente, provoquant ainsi la chute de pluies ou de neige. (Givoni. 1978).

II.2.2.2. HYGROMETRIE

L'hygrométrie caractérise l'humidité de l'air, On entend par humidité, la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air. Elle subit des variations en fonction de la température qui est considérée comme facteur déterminant. Ces variations subordonnées au régime annuel du rayonnement solaire et des températures moyennes, provoquent une répartition disproportionnée de la vapeur dans différentes régions de la terre, d'où la très forte concentration dans les régions équatoriales, et la diminution en amont vers les pôles. (Givoni 1978). L'humidité s'exprime en terme de :

Humidité absolue : Ce terme reflète le poids de la vapeur d'eau contenu dans une unité volumétrique, et s'exprime en : (g/m³).

Humidité relative : c'est le rapport entre l'humidité absolue et la quantité d'humidité maximale que peut contenir l'air, elle s'exprime en pourcentage.

L'humidité comme élément du climat, joue un rôle important dans le confort d'une ambiance.

II.2.3. FACTEURS MECANIQUES

II.2.3.1. LES VENTS

L'origine des vents est due aux mouvements conventionnels de l'atmosphère, et c'est le mouvement horizontal qui tend à équilibrer les différentes zones de pressions dans l'atmosphère. (Gandemer J. 1979). On peut illustrer essentiellement trois types de vents : les vents alizés, les vents d'Ouest, et les vents polaires, complétés par les vents dits de moussons, la brise, les vents des montagnes et des vallées. (Givoni 1978).

Les vents alizés :

Ont pour origine les régions de hautes pressions subtropicales des deux hémisphères et convergent vers le front intertropical. Ils s'écoulent en direction Sud-ouest dans l'hémisphère Nord, et en direction du Nord-Ouest pour l'hémisphère Sud, leurs caractéristiques dépendent des surfaces sur lesquelles ils circulent. Leurs vitesses variées entre 15 et 45 Km/h.

Les vents d'Ouest :

Ayant également pour origine les régions subtropicales, et se dirigent vers les zones de basses pressions subarctiques. Ils se caractérisent par des variations en vitesse et en directions, créant ainsi des systèmes de dépressions mobiles. En été, ils sont moins variables et leurs flux prennent comme direction le Nord-est.

Les vents polaires :

Ils ont pour origine les zones de hautes pressions polaires et arctiques, leurs directions dominantes est le Sud-ouest dans l'hémisphère Nord, et le Nord-Ouest dans l'hémisphère Sud.

Les vents mousson :

Dus principalement aux variations dans les régimes de températures moyennes annuelles sur les continents, provoquant des vents de terre en hiver et des vents de mer en été. Leur effet est beaucoup plus important dans les régions de l'océan indien, l'Asie du Sud, et l'Est africain.

Brise de terre et de mer :

Durant la journée, l'air au-dessus des terres s'échauffe plus que sur les surfaces des mers ayant la même altitude, à ce moment, l'air chaud s'élève et l'air plus froid s'écoule vers la terre, c'est la brise de mer, ainsi le phénomène s'inverse pendant la nuit, et c'est la brise de terre. Les vents générés de cette manière sont appelés brises.

Les vents de montagnes et de vallées :

Ils sont dus aux différences de températures entre l'air se trouvant au-dessus des surfaces en pente ensoleillées et celui se trouvant à la même altitude au-dessus des vallées, engendrant un mouvement de vents forts qui soufflent en remontant la vallée pendant le jour, et en la descendant pendant la nuit.

II.3. Forme géométrique, efficacité énergétique, et expression architecturale

II.3.1. L'importance de l'équilibre entre l'expression architecturale et l'efficacité énergétique des formes géométriques en architecture

Donner une forme aux choses matérielles, que nous produisons, est une nécessité inévitable. Dans l'architecture, la forme englobe et donne de l'importance soit : à l'économie, à l'esthétique, à la fonctionnalité, à la culture, mais aussi à l'efficacité énergétique.

L'approche passive aux thèmes de l'épargne d'énergie est essentiellement basée sur les articulations morphologiques des constructions. La forme, dans son sens géométrique et matériel, conditionne l'efficacité énergétique d'un bâtiment dans son interaction avec l'environnement.

Il n'y a pas un doute que cette approche passive d'énergie, étant soutenue par la forme matérielle à un impact direct sur la langue architecturale et sur l'influence de l'expression architecturale.

Le choix de la forme de construction ne dépend pas seulement des besoins énergétiques, mais de plusieurs paramètres, tels que : sociologiques, économiques, environnementaux, techniques et esthétiques. Ces paramètres interviennent au début dans la conception d'un bâtiment. Mais le souci, pour l'épargne d'énergie et par conséquent, la réduction de la pollution, doit demeurer

dans un des principes de la conception environnementale dominant sur la conception d'un bâtiment de qualité (Depecker P. et al, 2001).

Dans le but d'avoir des formes produisant des solutions énergétiques convenables, beaucoup d'intérêt est centré, récemment, autour de ces sujets, et la sagesse des formes et des concepts du passé ont été redécouverte. Parmi les concepts historiques, deux sont d'importance particulière :

1. L'établissement des relations stratégiques raisonnables et amicales avec l'environnement physique : cela est défini comme une alliance avec l'environnement qui implique la manipulation des paramètres physiques tel que le sol et la végétation, tissus urbains, pollution, et l'irradiation solaire représentant le paramètre dominant tant qu'il est la source de l'énergie primaire de notre planète. Tous ces éléments peuvent être mesurés en terme physique et sont donc le sujet de la science.
2. L'identification des interactions entre les sensations et la perception physique dans la création du sentiment du confort : les paramètres intervenant sont nos énergies émotives et intellectuelles, qui sont notre perfection inépuisable. Cependant, elles représentent l'essence même de la qualité architecturale.

Notre réalité perceptuelle résulte d'une multitude de composantes sensorielles : visuelles, thermiques, acoustiques et également de la qualité d'organisation de l'espace dans lequel les différents paramètres viennent ensemble, comme le sens du " l'ordre " ou de " la sérénité ". Mais des évaluations pratiques, telles que celles de l'utilité, peuvent être impliquées aussi. L'évaluation est complètement subjective mais elle peut également être partagée par la quasi totalité des personnes. Par conséquent, ces paramètres culturels sont différents dans divers contextes et changent non seulement avec l'environnement culturel, dans le sens anthropologique, mais également par rapport à la fonction. Les paramètres scientifiques mesurables peuvent avoir ainsi leurs significations très profondément changées par les paramètres culturels non mesurables mais descriptibles (Manfredi Nicoletti, 1998).

Il est alors très difficile d'extraire et séparer les paramètres et les éléments relatifs à cette efficacité de l'unité expressive à laquelle ils appartiennent, c'est la raison pour laquelle nos efforts ne doivent pas s'arrêter à la solution technique banale des problèmes, oubliant la

complexité de notre vie intellectuelle et émotive ou les valeurs symboliques et plus généralement psychologiques dont l'architecture est le promoteur.

Donc, l'efficacité énergétique de l'architecture ne signifie pas que l'élimination de n'importe quel excès dans la consommation d'énergie pour la construction de notre environnement, mais elle réclame aussi une expression plus modérée, plus élégante, pour augmenter la richesse et le caractère précieux de l'architecture tout en contribuant à un meilleur environnement d'un point de vue esthétique.

II.3.2. Formes de construction : paramètres en relation avec le gain de chaleur et l'ambiance thermique

La forme de construction et la volumétrie de la composition de l'enveloppe ont un effet sur la surface exposée et le gain solaire thermique. Elle doit être choisie pour bien bénéficier des avantages et se protéger contre les aspects défavorables du climat.

Des connaissances, concernant, l'effet de la relation entre la variation des paramètres géométriques d'une forme de construction avec le gain thermique résultant sur l'ambiance thermique intérieure, sont indispensables pour aider le concepteur à mieux servir l'architecture bioclimatique.

Vue la diversité illimitée des formes géométriques des constructions, le choix des trois paramètres déterminants a été le résultat des constats suivants :

- Le volume de la construction est fortement relié à sa capacité thermique, la surface de l'enveloppe est reliée à la proportion du gain ou perte de l'énergie thermique, la proportion de volume à la surface de l'enveloppe constitue un indicateur très important de la vitesse avec laquelle la construction se chauffe pendant le jour et se refroidit durant la nuit. Si le niveau de température est élevé, il est préférable que la construction se chauffe lentement : la proportion de volume à la surface est souhaitable qu'elle soit grande (Yannas S., 1994).
- Dans le climat chaud et sec, la plupart du gain solaire, durant le jour, est le résultat des radiations solaires directes. Les surfaces exposées aux radiations solaires sont plus importantes que la surface totale de l'enveloppe. Dans les basses latitudes, le toit est la surface la plus exposée aux radiations solaires, suivi par les murs Est et Ouest, et durant la nuit le toit perd la plupart de la chaleur par radiation. Connaissant que la température radiante affecte la sensation de confort, le plafond constitue donc une source indésirable de températures dans les climats chauds et secs.

- L'échange radiatif constitue un moyen important d'apport ou de perte thermique. Il entre dans l'échange avec le soleil, entre une personne et l'architecture qui l'abrite et entre un édifice et le milieu qui l'entoure. Le problème général des échanges par rayonnement est extrêmement complexe car chaque élément de surface d'un corps émet dans toutes les directions et reçoit de toutes les directions et de tous les lieux qui lui sont exposés (Lavigne P., 1994). De là, un échange d'énergie, par rayonnement électromagnétique entre deux surfaces, nécessite la connaissance des facteurs de forme.

II.3.2.1. LA HAUTEUR DU PLAFOND

Une des particularités de l'architecture traditionnelle des maisons dans les climats chauds est la hauteur du plafond, pour créer des conditions froides pour divers critères :

- Les plafonds hauts transmettent moins de radiations aux occupants que les toits bas, pour la même surface couverte (Figure. 22).

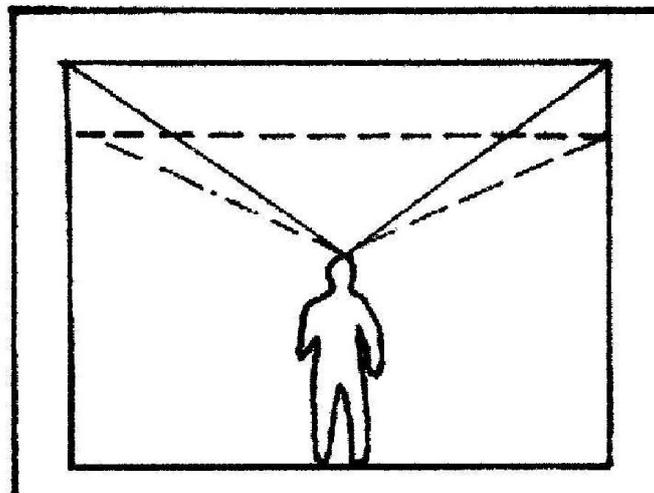


Figure II. 22. Effet de la hauteur de plafond sur la radiation du toit reçu par l'occupant. Source Evans M., 1980.

- Le transfert de la chaleur par convection est moins important avec le toit haut, puisque l'air chaud forme une couche au dessous du plafond et au dessus, aussi, des têtes des occupants (Figure. 23).

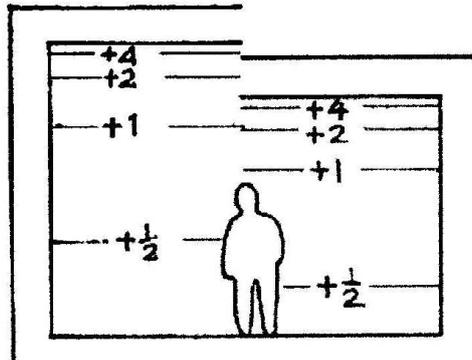


Figure II.23. Effet de la hauteur de plafond sur la gradation de la température de l'air intérieur ; une différence de $1/2^{\circ}\text{C}$ perçu par l'homme. Source Evans M., 1980, p. 62

- La possibilité d'avoir une grande différence, en hauteur, entre deux ouvertures, donne des meilleures possibilités de dégager l'air chaud par l'effet de cheminée (Figure. 24).

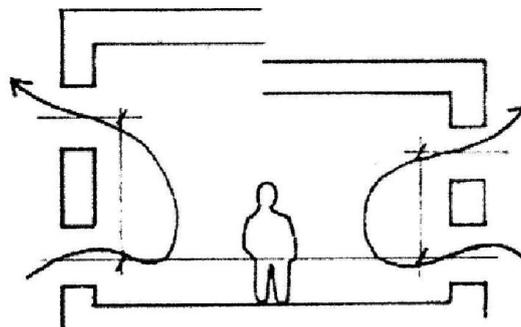


Figure II.24. Effet de la hauteur de plafond sur le mouvement d'air intérieur. Source Evans M., 1980, p. 62

- Le haut plafond augmente le volume de l'air dans la construction, ce qui permet au grand volume d'air de garder, longtemps, sa pureté. Un tel espace n'exige pas un taux de ventilation élevé, ce qui est primordial pour ces régions durant la journée.

Les avantages des hauts plafonds, dans les climats chauds et secs, ont été étudiés dans plusieurs pays. La conclusion établie par ces études est que la hauteur des plafonds, dans les habitations, ne les rends pas plus confortables que les habitations avec des plafonds bas de 2,7 m ou même 2,5 m. La différence peut être significative entre les plafonds ayant des hauteurs supérieures à 3,5 m et ceux avec des hauteurs inférieures à 2,5m, avec des températures

du toit plus élevée (Evans M., 1980). Sachant qu'il est plus économique d'utiliser une couche d'isolant au niveau du toit que d'élever le plafond (Watson D. et Camous R., 1983).

De même que l'effet de cheminée, pour la ventilation, est moins signifiant, à moins qu'il existe une très grande différence entre la température de l'air intérieur et celle de l'air extérieur. Dans ce cas, la ventilation due à l'effet de cheminée est moins importante en comparaison avec celle due à l'effet de la pression d'air, même si la vitesse de l'air est très réduite (Evans M., 1980).

L'utilisation des hauts plafonds, pour atteindre le confort, est basée sur l'idée que le grand taux de gain thermique provient du toit, alors que le contrôle de gain thermique interne est assuré par d'autres moyens moins coûteux et plus efficaces. Plusieurs études ont été menées par B. Givoni sur l'effet de la réduction de la hauteur de plafond sur le confort intérieur dans les pays chauds dont la conclusion était que ; « *...dans les régions chaudes, les pièces a plafonds bas (vers 2.5m) ne sont pas thermiquement inférieures aux pièces à plafonds plus élevés (jusqu'à 3,3m) >>* (Givoni, 1978).

II.3.2.2. LE PARAMÈTRE DE FORME

Le projet de cette thèse entre dans le cadre de l'étude de la relation entre la performance thermique et la forme de construction. Pour fournir des solutions énergétiques performantes, la définition d'un paramètre qui caractérise la forme doit être introduite, les concepteurs doivent pouvoir le manipuler facilement. Il est assez important que sa définition géométrique et mathématique soit simple et facile pour l'employer dans le développement du projet.

Afin de qualifier la forme, un coefficient de forme C_f est défini comme suit :

$$C_f = Se / V \quad [m^{-1}]$$

Se : est la surface d'enveloppe du bâtiment.

V : est le volume intérieur du bâtiment (Depecker P. et al, 2001).

Selon plusieurs études scientifiques, la relation entre le coefficient de forme C_f et la consommation d'énergie est établie comme suit :

- Long Enshen a étudié les lois de variation de consommation d'énergie de deux genres de bâtiments, qui ont différents coefficients de forme, dans des conditions climatiques complètement différentes, en utilisant 14 villes situées dans la latitude Nord entre 22° et 52°, il a aboutie à la conclusion suivante : l'augmentation du coefficient de forme peut certainement augmenter le besoin de chauffage et de refroidissement annuel quelque soient les conditions climatiques (Long Enshen, 2005).

• P. Depecker et al concluent que le coefficient de forme C_f s'avère être une bonne représentation de la consommation d'énergie, quant le climat est plutôt rigoureux, dans ce cas, la compacité sera recherchée, mais quand le climat est doux et ensoleillé, le C_f n'est plus représentatif et la compacité peut ne plus être recommandée. D'autres paramètres tels que l'orientation, l'inclinaison et la géométrie du bâtiment pourraient améliorer probablement la corrélation avec la consommation d'énergie (Depecker P. et al, 2001).

Pour le climat chaud et sec, un des climats rigoureux, le paramètre de forme intervient dans la détermination de la performance thermique, et selon P. Depecker, la forme compacte est, dans ce cas, recommandée. Mais, tant que l'intensité des rayonnements solaires et la grande durée de l'ensoleillement caractérisent ce type de climat, d'autres paramètres, assez importants, doivent intervenir dans la détermination de la forme de construction :

- L'orientation.
- L'ombrage.

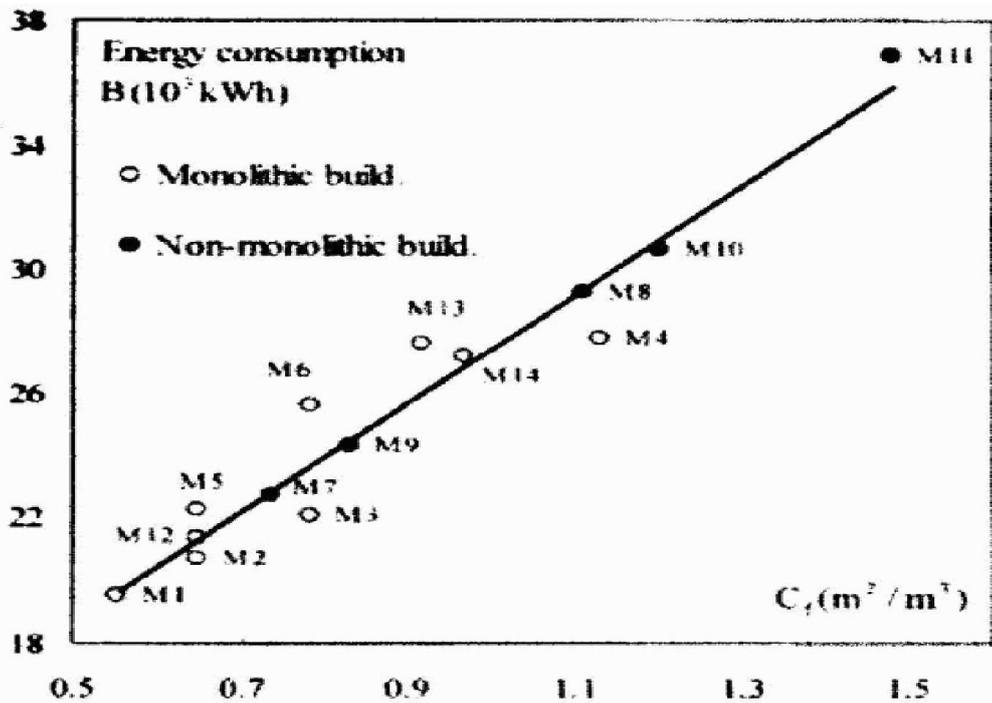


Fig II. 25. Variation de la consommation d'énergie B en relation avec le coefficient de forme C_f dans un climat froid, Paris. Source Depecker P. et al, 2001, p. 633-634.

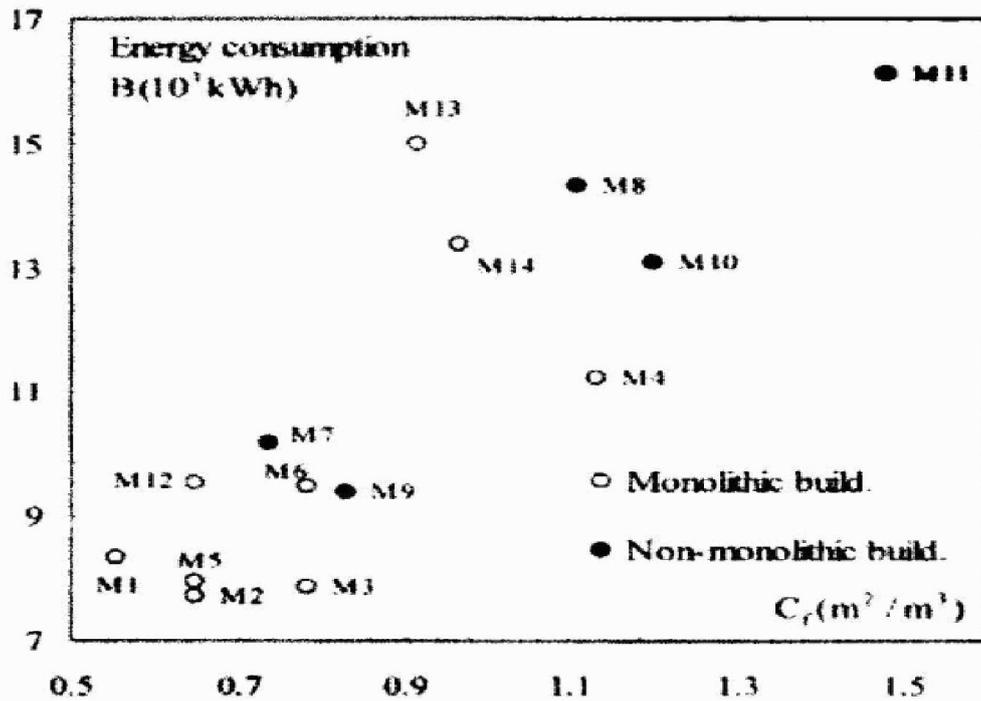


Fig. II.26. Variation de la consommation d'énergie B en relation avec le coefficient de forme Cf dans un climat tempéré, Carpentras Source Depecker P. et al, 2001, p. 633-634.

II.3.2.3. FACTEURS DE FORME

Ils sont compris entre 0 et 1, ils traduisent le rapport entre la quantité d'énergie, qui quitte une surface et qui atteint une autre, et la quantité totale d'énergie qui quitte la surface. Ils sont donc proportionnels à l'angle solide sous lequel une surface émettrice se trouve exposée à une surface réceptrice.

Pour chaque élément de surface, il est nécessaire de calculer les facteurs de forme entre celui-ci et les autres surfaces et entre celui-ci et le ciel. Le facteur de forme entre deux surfaces i et j , orientées d'un angle de 6° par rapport à leur normale n et séparées d'une distance r augmente avec la diminution de l'angle compris entre 0° et 90° . Pour une surface horizontale, l'échange des rayonnements de grandes longueurs d'onde ce fait avec le ciel, avec une valeur maximale du facteur de forme entre la surface et le ciel qui est égale à 1.

II.3.3. EFFETS DE L'ORIENTATION SUR LE GAIN THERMIQUE

Plusieurs variables affectent le choix de l'orientation d'une construction. Elles sont, d'ordre naturel, tel que la topographie du site et ces conditions climatiques, et d'ordre artificiel tel que l'impact de l'occupation de l'environnement poussent, le concepteur à la recherche d'une

orientation convenable. L'action de l'orientation affecte principalement la durée d'ensoleillement, les températures des surfaces et le gain d'énergie transmis par l'enveloppe, affecte ainsi le confort thermique en variant : (Izard J.L., 1994).

- La puissance maximale du rayonnement reçu.
- Le moment de la journée où la puissance du rayonnement est maximale.
- La durée d'insolation de la surface.
- L'albédo du sol.

II.3.3.1. EFFET DE L'ORIENTATION D'UNE SURFACE SUR LES RADIATIONS SOLAIRES REÇUES

Pour un plan, d'orientation et d'inclinaisons données, situé dans un environnement, le rayonnement solaire peut être considéré selon différentes optiques. En tant que puissance, ou plus exactement densité de flux incident, qui est connue en fonction du moment, de la latitude et de la qualité du ciel. En tant qu'énergie moyenne reçue (par exemple journalière), pendant une période donnée. La quantité de la radiation solaire, reçue par des surfaces de différentes orientations, diffère selon leur visibilité du soleil (Yannas S., 1994).

Le rayonnement en provenance du soleil et atteignant un plan, présente trois composantes :

- Le rayonnement direct qui provient directement du soleil, et qui peut être nul, par temps couvert.
- Le rayonnement diffus qui provient de la diffusion du rayonnement solaire par les particules de l'atmosphère et qui est en quelque sorte émis par la voûte céleste : faible par ciel très pur, ce rayonnement n'est jamais nul.
- Le rayonnement réfléchi qui provient de la réflexion sur l'environnement des deux rayonnements précédents (Lavigne P., 1994). L'intensité du rayonnement réfléchi est une fonction du facteur de réflexion moyen ou albédo : l'albédo d'un sol est le rapport entre le rayonnement renvoyé par le sol et le rayonnement incident (Bouvier F., 1989).

On doit citer comme points essentiels que :

- les surfaces verticales reçoivent toujours les radiations réfléchies par le sol.
- L'intensité de rayonnement solaire diffus, reçue par les surfaces verticales Est, est la moitié de celle reçue par la surface horizontale, parce qu'elle est exposée à la moitié du ciel (Evans M., 1980).

- La surface horizontale ne reçoit aucun rayonnement réfléchi sauf si elle se situe à proximité d'une forte élévation du sol ou d'une construction plus élevée (Givoni, 1978).

La différence, dans la densité des radiations solaires incidentes sur les surfaces horizontales, dépend de la géométrie solaire exprimée par des coordonnées angulaires de la position du soleil, celle-ci déterminée par des angles mesurés en degrés :

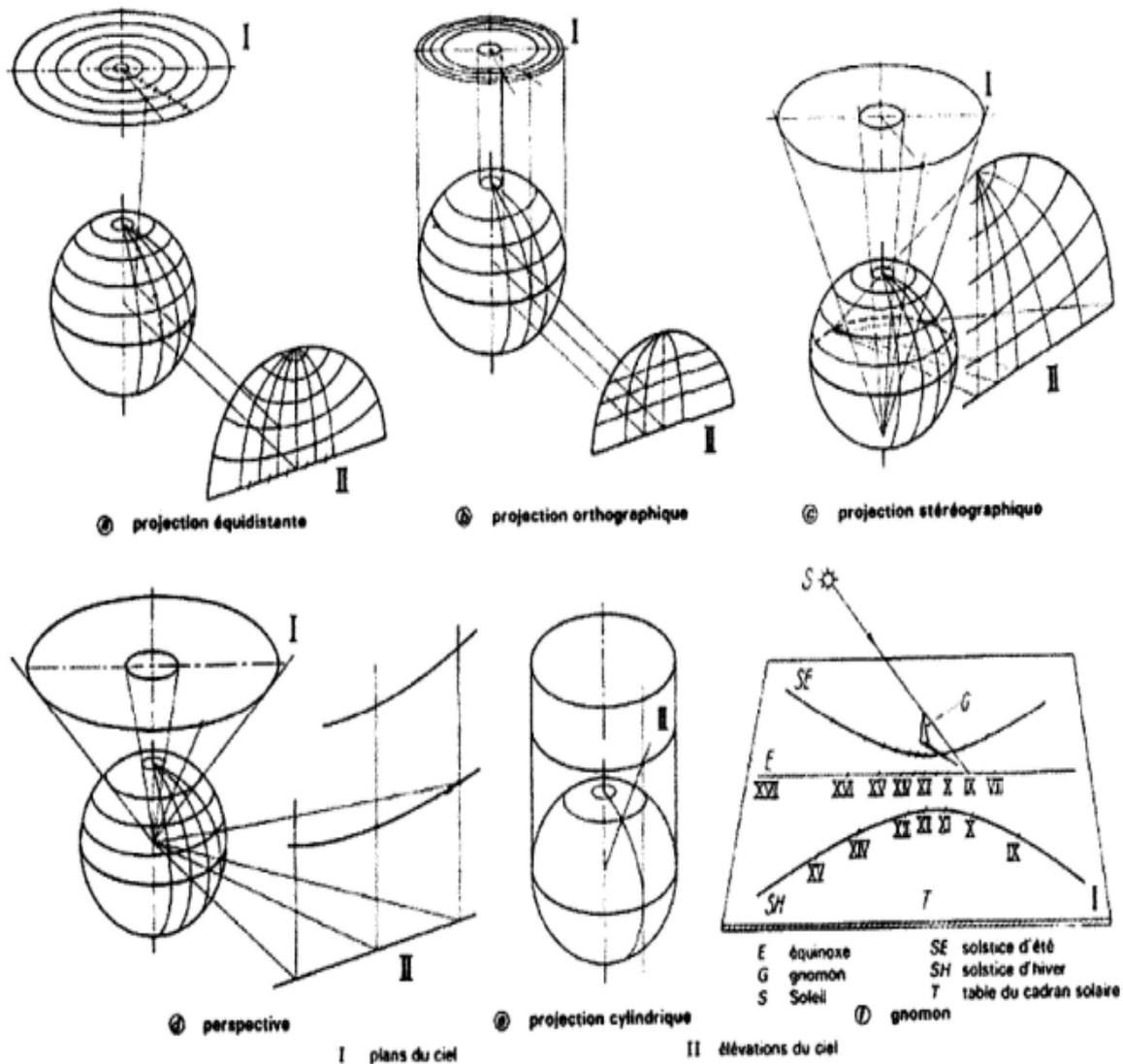


Figure II.27. Mode de projections utilisées pour les diagrammes solaires. Source : Bouvier, F, 1989, p 6.

Par rapport à l'équateur terrestre et au méridien du lieu considéré, ces angles ne dépendent que de la saison et de l'heure : ce sont la *déclinaison* δ comptée à partir de l'équateur et *l'angle horaire* H à partir du midi vrai.

- Par rapport au méridien du lieu et à l'horizon, ces angles dépendent en outre de la latitude Φ , comptée à partir de l'équateur : ce sont la *hauteur* h mesurée à partir de l'horizon et *l'azimut* A à partir du Nord (Bouvier F., 1989).

La différence, dans l'intensité du rayonnement solaire direct incident des surfaces de diverses orientations, est présentée pour une latitude précise pour démontrer que l'orientation qui reçoit la plus grande quantité de radiations n'est plus stable, elle change pendant l'année avec la déclinaison du soleil. Par exemple, un plan vertical sud sous la latitude 45° reçoit le maximum d'énergie en hiver entre 11h et 13h ($>700\text{W/m}^2$). Par contre, un plan vertical ouest reçoit le maximum d'énergie entre 16h et 18h ($>600\text{W/m}^2$) (Izard J.L., 1994). Des diagrammes énergétiques universels, par inclinaison de plan et état du ciel, sont disponibles, leur intérêt est de pouvoir être superposés aux diagrammes solaires. On peut connaître les données solaires géométriques et énergétiques à chaque moment, pour chaque orientation en décalant les deux diagrammes selon l'orientation du plan considéré (Lavigne P., 1994). Il y a plusieurs types de projections de la course solaire qui ont le même principe d'utilisation, ces projections sont disponibles dans plusieurs outils d'aides de simulation d'ensoleillement, dont essentiellement : la projection équidistante, orthographique, stéréographique, cylindrique, perspective et gnomon. Ce sont des modes de projection pour réaliser des cartes du ciel (Figure. II.27).

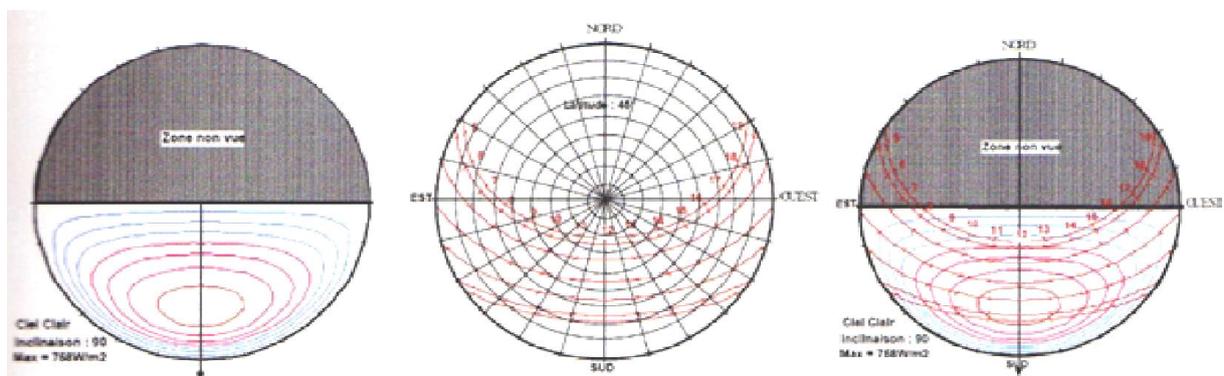


Figure II.28.a. Diagramme de l'énergie incidente sur un plan vertical, conditions de «ciel clair».

L'équidistance des courbes est de 100W/m^2 . Source : Izard J.L., 2004, p. 17,

Figure II.28.b. Diagramme solaire de la latitude 45°N compte avec les iso hauteurs de 10 en 10° et les

azimuts de 15 en 15° . Source : Izard J.L., 2004, p. 17,

Figure II.28.c. Eclaircissement énergétique du plan vertical orienté au SUD sous la latitude 45°N .

Pour les diagrammes de projection orthographiques, on démontre, dans les (figures. II.28.a,b,c), l'utilisation d'un diagramme solaire et énergétique pour déterminer l'éclaircement d'une surface d'orientation définie.

En tenant compte de la différence des intensités de rayonnements solaire reçue par des plans de différentes orientations, On peut conclure que le Sud est une orientation recommandée pour l'hiver. En été, elle est recommandée dans un climat relativement modéré. Dans un climat à été très chaud et hiver peu rude, l'orientation Sud /Sud-Est est la meilleure. Pour un hiver rude et un été modéré, l'orientation Sud/ Sud-Ouest est recommandée.

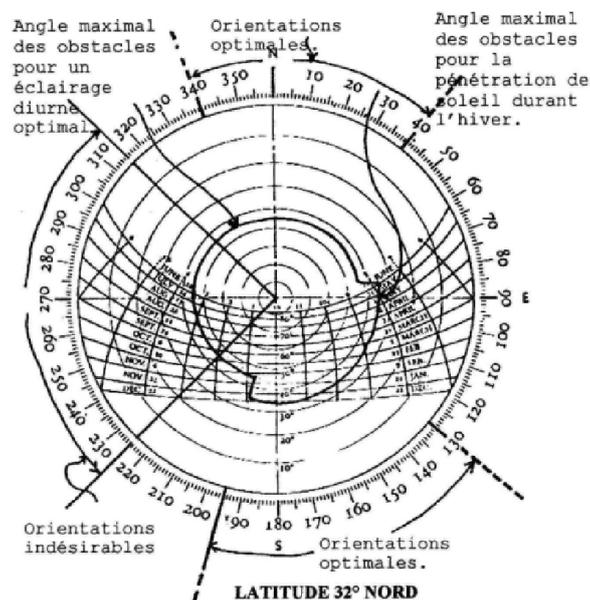


Fig II.29. Espacement et orientation requis pour des climats chauds et secs. Source : Evans M., 1980, P. 72

II.3.3.2-PARAMETRES DE L'ENVELOPPE AFFECTANT LA DIFFERENCE DE GAIN THERMIQUE DE DIVERSES ORIENTATIONS :

Les surfaces externes de l'enveloppe du bâtiment ont des gains de chaleur différents, le toit du bâtiment est chauffé par les radiations solaires du lever au coucher du soleil, alors que les murs verticaux de diverses orientations sont parfois ombragés. La différence, dans les radiations solaires directes des murs externes, dépend de leurs azimuts (Mingfang T., 2002). Approximativement, il est déterminé que le gain de chaleur à travers une surface horizontale, en été, est le double par rapport à une surface d'orientation Sud et d'une fois et demi supérieur à celui des surfaces d'orientation Est et Ouest. Par contre, en hiver, il est supérieur d'un tiers

de gain d'une surface d'orientation Sud et de deux tiers de celui d'orientation Est et Ouest (Ekaterini Eumorfopoulou et al, 1998).

En l'absence de rayonnement solaire, les régimes de température, de surface des parois d'orientation quelconque, sont plus au moins parallèles à ceux de l'air extérieur. La température de la toiture peut être inférieure de plusieurs degrés à celle de l'air ambiant, du fait de la perte de chaleur par rayonnement de grande longueur d'ondes. Cela démontre que l'influence de la température de l'air ambiant est indépendante de l'orientation. Cependant, sous l'exposition au rayonnement solaire, qu'il soit direct, diffus ou réfléchi, la température de ces surfaces augmente proportionnellement à la quantité du rayonnement absorbé, qui diffère selon l'orientation de la surface et selon son facteur d'absorption dépendant, à son tour, de la couleur de la surface externe. Les effets quantitatifs des variations de vitesse du vent, sur l'apport de chaleur par convection, ne sont pas très grands. L'influence de l'orientation des surfaces sur les amplitudes de l'élévation de la température dépend de la capacité calorifique et de la résistance des murs. Avec une capacité calorifique, et surtout une résistance élevée, elles sont moins influencées par l'orientation que ces derniers sont faibles.

La quantité d'énergie absorbée par une paroi d'un bâtiment ne dépend pas seulement de l'intensité des radiations solaires, mais aussi de la couleur de cette surface. Chaque surface possède un facteur d'absorption "a". La couleur d'une surface donne une bonne indication de son facteur d'absorption pour le rayonnement solaire, qui décroît avec la clarté de la couleur : il varie entre 0 et 1 (ou bien en %).

L'expérience effectuée par Givoni, concernant une comparaison entre les températures des surfaces externes orientées vers les quatre directions cardinales avec deux couleurs différentes, le gris et le blanc, a révélé des différences dépassant 23° dans les températures des murs gris selon diverses orientations, tandis que pour les murs à la chaux blanche, les différences étaient toutes inférieures à 3°. Donc il existe une considérable interaction des effets entre l'orientation et la couleur sur le réchauffement des parois extérieures : pour un facteur d'absorption faible, l'influence de l'orientation sur les températures internes est moins significative que pour un facteur élevé (Givoni, 1978).

II.4. TYPES DE CLIMATS

Les climats régnant autour du globe sont principalement influencés par l'échauffement de l'énergie du soleil, des masses de la terre et d'eau. Au niveau régional, le climat est influencé par l'altitude, la topographie, les modèles des courants de vents et d'océans, la

géomorphologie et le modèle de la végétation. En conséquence, les régions tropicales peuvent être divisées en beaucoup de différentes zones climatiques. Une classification très complète basée sur le climat et le paysage est donnée par un scientifique soviétique L.S.Berg. Il distingue douze types de climat : 1-forêt tropicale humide. 2- forêt tropicale, de savane. 3-le désert tropical. 4- forêt subtropicale. 5-méditerranéen. 6-désert montropical. 7-steppe. 8- région de mousson, de latitude modérée. 9- forêt à feuilles caduques de latitude modérée. 10-taïga. 11-toundra et 12-les régions froides. Une autre classification du climat tropical est déterminée par le scientifique Anglais G.A. Atkinson, elle est basée sur les conditions thermiques et d'humidité qui prédominent au cours de toute l'année. Il a distingué six types de climats ; chaud aride, chaud humide, montagne, désert maritime, mousson et océanique (Rimsha A. N. 1982)

Plusieurs systèmes de classification basés sur la végétation sont développés. Le plus connu et le plus utilisé est celui de Köppen dont la version originale est datée de 1900. Une version légèrement modifiée a intégré la précipitation annuelle pour distinguer des zones et la température moyenne mensuelle pour distinguer d'autres (figure II.30). Mais une classification basée sur la végétation ou sur la précipitation et la température ne répond toujours pas aux besoins des concepteurs qui cherchent à évaluer le confort thermique régnant dans une région. Pour une classification liée à la conception bioclimatique, les paramètres minimums qui doivent être inclus sont l'humidité, la température et la gamme de température (Evans, M 1980).

D'autres classifications sont basées sur l'architecture vernaculaire, Dolfus (1954) a développé une classification basée sur la relation entre des types de constructions qui sont identifiés par leurs toits et les caractéristiques thermiques et de précipitation des zones. Fitch et Branch (1960) ont élaboré une division basée sur l'analyse des performances de l'architecture vernaculaire en relation avec le climat, et Givoni (1963) a proposé une division climatique des USA et du Canada en se basant sur une analyse des climats et des exemples de l'architecture vernaculaire, quoique le climat n'est pas toujours été le facteur déterminant de l'architecture vernaculaire (Cook Jeffrey, 1996)

Beaucoup de secteurs existent avec des climats différents ou combinés. Les conditions locales peuvent également différer sensiblement du climat d'une région, selon la topographie, l'altitude et les environnements, qui peuvent être naturels ou artificiels. La présence des conditions favorables ; des surfaces d'eau, vent local, urbanisation, altitude, et la végétation peuvent tous influencer fortement le climat local (Intestin et al, 1993), car les dispositifs de

chaque zone sont différents : il est évident que ceci aura comme conséquence différents problèmes et solutions, par conséquent différentes :

Du point de vu de la conception des bâtiments, et tenant compte des facteurs influant sur une conception bioclimatique, une classification des types climatiques développés par Miller a été modifiée par Givoni pour distinguer les groupes climatiques suivants :

a) Climats chauds :

1. Sec et chaud : désertique.
2. Chaud et humide : équatorial et tropical maritime.
3. Sec, chaud et humide : tropical continental et mousson.

b) Climats tempérés chauds :

4. Type moyen occidental.
5. Type moyen oriental.

c) Climats tempérés froids :

6. Tempéré froid continental.
7. Tempéré froid maritime.

d) Climats froids :

8. Continental froid : Sibérien.
9. Froid maritime : Norvégien.
10. Froid désertique.
11. Arctique (Givonie, 1978)



LEGENDE :

- | | |
|----------------------------|-------------------------|
| A- Équatorial. | BW- Désert. |
| C- Tempéré. | BS- Steppe. |
| D- Froid tempéré | H- Climats de montagne. |
| E- Arctique et subarctique | |

Figure II.30. Zones climatiques selon la division modifiée de Köppen. Source : Evans. M, 1980.

II4.1. CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES ET DISTRIBUTION GEOGRAPHIQUE DU CLIMAT CHAUD ET SEC

On rencontre ce climat entre 15° et 35° au Nord et au sud de l'équateur, (Evans. M, 1980) dans les régions subtropicales d'Afrique, d'Asie centrale et occidentale, d'Amérique du Nord-Ouest et du Sud et en Australie centrale et occidentale (Givoni, 1978). Il est caractérisé par :

✓ TEMPÉRATURE DE L'AIR :

Un climat sec et chaud est caractérisé par des températures élevées causées par le rayonnement solaire direct et intense, qui peuvent s'abaisser de 15° à 25°C durant la nuit. (Evans M., 1980) Les fluctuations de la température de l'air sont bien sûr beaucoup plus faibles mais, malgré tout, une amplitude diurne de 20 °C n'est pas rare. Les températures durant un jour d'été sont aux alentours de 40° à 50 °C, et la nuit, elles sont comprises entre 15° et 25 °C (Givoni, 1978).

✓ HUMIDITÉ ET PRÉCIPITATION :

L'humidité relative évolue avec la température de l'air et peut varier de 20% dans l'après midi, jusqu'à plus de 40% la nuit. Les pluies sont peu abondantes et varient de 50 mm à 150 mm annuellement (Fardeheb.F, 1987).

✓ RADIATION SOLAIRE :

Le rayonnement solaire est direct et intense, supérieur à 800 ou 900w/m² sur une surface horizontale, il est en outre augmenté par le rayonnement réfléchi par les surfaces arides et de couleurs claires voisines (Givoni, 1978).

✓ VENTS:

Les vents sont locaux et chauds, de vitesse généralement faible le matin, plus intense vers midi et maximale l'après midi. Par ailleurs, il n'est pas rare qu'ils soient accompagnés de tourbillons de sable et de poussière.

II.4.1.1. PROBLEMES ET EXIGENCES DE CONFORT PHYSIOLOGIQUE DANS UN CLIMAT SEC ET CHAUD

Dans un climat chaud et sec, les conditions de confort physiologique sont difficiles à satisfaire. Elles ne peuvent généralement être assurées que si la conception des bâtiments est adaptée aux conditions de l'été. Dans ce cas, la principale considération est la réduction de l'impact du rayonnement solaire sur les bâtiments et les espaces extérieurs, là où les vents secs et chauds s'accompagnent de tempêtes de poussières. Le contrôle du vent doit être axé sur la protection plutôt que sur la recherche de la meilleure ventilation.

Dans les régions à climat sec et chaud, la dissipation du surplus de chaleur du corps humain se fait principalement par la sudation qui est le résultat de l'évaporation de la sueur. Cette évaporation aide à maintenir un certain degré de confort satisfaisant (Szokolay, 1980 ; Baker, 1987). L'efficacité de ce mode de déperdition thermique peut être contrariée par les conditions du milieu, en particulier, par une humidité relative élevée dans l'air et un mouvement d'air insuffisant. avec une faible humidité, c'est le cas de notre contexte climatique. En se basant sur ces réalités et sur celles qui indiquent que la faible humidité favorise le refroidissement par évaporation, même par air calme, on comprend l'effet que la ventilation naturelle, pendant le jour, est indésirable dans des conditions d'un climat chaud et sec: elle augmente la charge physiologique du corps par une augmentation de son gain de chaleur convective. L'effet de l'aération et de l'apport d'air frais peut être assuré pendant la nuit mais avec une vitesse d'air optimale de 1m/s et acceptable jusqu'à 1,5m/s (Givoni, 1978).

Vu que le confort est une sensation subjective qui diffère d'un homme à un autre selon le sexe, l'état de la santé, le poids et la taille du corps, le revêtement, l'activité exercée et l'acclimatement (Givoni, 1978 ; Szokolay, 1900), plusieurs études ont été menées pour déterminer les conditions de confort dans un climat chaud et sec.

Dans la corrélation des données physiques de l'environnement et les réponses subjectives des individus dans ce qui est défini en indices théoriques, Nicol et Sharma ont été d'accord que, dans des climats chauds et arides, la température de l'air et la température résultante sont les seules variables qui affectent largement les résultats de votes pour le confort. Ils affirment que ni l'humidité relative, ni la vitesse de l'air n'ont montré un impact significatif sur la sensation de confort thermique. Ils précisent et soutiennent que l'humidité relative, dans les climats chauds et secs, a des valeurs assez faibles pour affecter l'évaporation du corps humain et, par conséquent, pour assurer un refroidissement qui influe sur le confort

thermique (Hanna R., 1997). Par contre Givoni donne des valeurs limites de confort, indépendantes de l'humidité relative, mais liées au niveau de la ventilation de l'espace pendant la nuit où elle est exigée. Il limite le confort du jour à une température ambiante de 27°C à 29°C lorsque la ventilation n'est pas envisageable et à une température de 24° -25°C pendant la nuit avec une ventilation faible ou efficace (Givoni, 1978). D'autres valeurs d'une température optimale pour le confort, dans des conditions d'un climat chaud et sec, ont été suggérées par Nicol et Sharma dont Nicol donne une valeur de 32°C et Sharma suggère des valeurs près de 27,5°C (Hanna R., 1997).

II.4.1.2. STRATÉGIES CONCEPTUELLES ET TECHNIQUES DE RÉGULATION THERMIQUE DANS UN CLIMAT CHAUD ET SEC

Les caractéristiques climatiques d'un climat chaud et sec se manifestent en tant que source d'inconfort pour les habitants de ces régions. Afin d'y améliorer les conditions de vie, plusieurs stratégies impliquent l'action sur les paramètres suivants :

- Les radiations solaires.
- Les températures.
- La ventilation.

Ces stratégies peuvent être résumées sous forme de deux alternatives :

- Protection contre les surchauffes.
- Approvisionnement en fraîcheur naturelle.

Le schéma qui suit présente les stratégies de base pour le refroidissement (Figure II.31), d'après Anupama Sharma et al (2003), ces stratégies sont présentes dans plusieurs livres et articles et en détail, notamment, dans le guide de l'énergie solaire passive de Edward Mazria (1981) et l'habitat bioclimatique de Watson D. et Camous R. (1983).

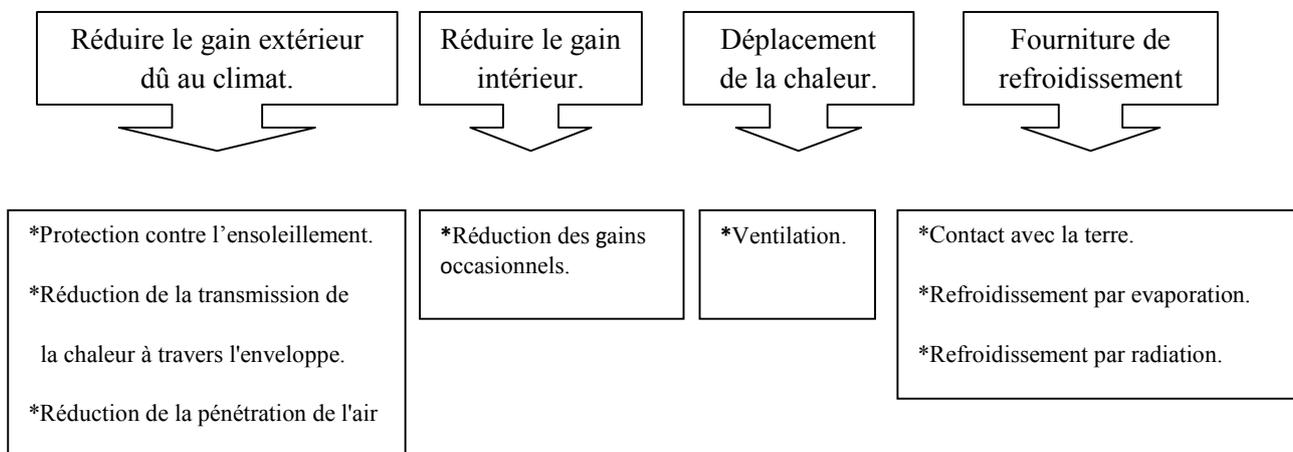


Figure II.31. Stratégie de base pour le refroidissement.

Pour atteindre ces objectifs, les stratégies conceptuelles consistent à :

- * Limiter les transferts de chaleur par conduction.
- * Déphaser les variations périodiques de température.
- * Favoriser la ventilation.
- * Limiter les gains solaires.
- * Favoriser le refroidissement par rayonnement nocturne.
- * Favoriser le refroidissement par évaporation (Watson D. et Camous R., 1983).

II.4.1.2.1. LIMITER LES TRANSFERTS DE CHALEUR PAR CONDUCTION

Dans les échanges thermiques avec l'environnement, la superficie de l'enveloppe est un facteur important au même titre que sa nature. Les caractéristiques thermiques des matériaux de construction, qui constituent l'enveloppe, jouent un rôle capital dans les échanges thermiques avec l'environnement.

Pour limiter les transferts de chaleur par conduction, les grandeurs mises en jeu sont la conductivité thermique et la capacité calorifique. Les matériaux de faible conductivité thermique peuvent s'opposer à la transmission de la chaleur résultante de l'absorption du rayonnement solaire. Mais dans les régions chaudes, la mise en œuvre de la résistance thermique seule, pour améliorer les conditions de confort, n'est pas suffisante, elle se limite aux régions où le maximum de température extérieure ne dépasse pas environ 30°C. Son recours à une grande capacité calorifique des matériaux, les possibilités de réduction des températures intérieures diurnes sont assez limitées. Ainsi, sous des variations périodiques des conditions extérieures, avec des différences de température et une résistance thermique donnée, le flux de chaleur transmis à l'intérieur du bâtiment décroît lorsque la capacité calorifique de sa structure croît (Givoni, 1978).

Avec l'utilisation d'une enveloppe épaisse, les températures superficielles intérieures seraient relativement constantes et proches des valeurs moyennes sur les surfaces extérieures. Ces valeurs sont particulièrement plus élevées pour un toit non blanchi que pour les autres surfaces, ce qui constitue pratiquement une source permanente d'échauffement de la maison (Cheng V. et al, 2005 ; Givoni, 1978) (Figure. II.32). Par conséquent une isolation des parois

les plus exposées au rayonnement solaire est prioritaire, mais elle n'est pas moins appréciable pour les parois verticales.

En contre partie, la chaleur stockée par une structure de grande capacité calorifique est restituée la nuit et présente des températures ambiantes nocturnes plus élevées que celles de l'extérieur. L'isolation thermique pourrait, toutefois, altérer la déperdition de chaleur, dans la mesure où elle amortit l'évacuation du flux de chaleur intérieur. Mais en réalité, ces inconvénients sont largement pondérés par l'effet de la ventilation nocturne, et la qualité thermique de l'ambiance intérieure nocturne est plus conditionnée par la ventilation que par les déperditions par conduction (Watson D. et Camous R., 1983; Mazria E., 1981; Givoni, 1978).

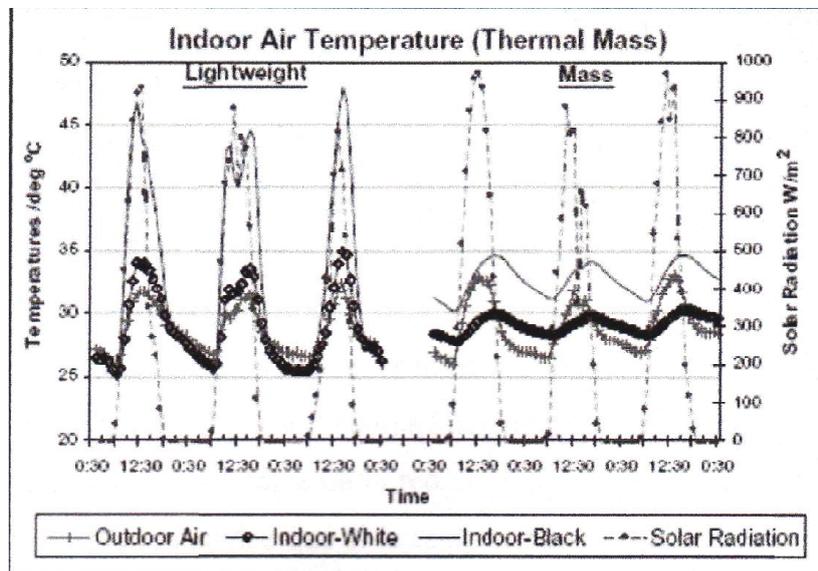


Figure. II.32. Effet de l'inertie thermique sur la température d'air intérieur. Source : Cheng. V et al, 2005, p. 531.

II.4.1.2.2. DÉPHASER LES VARIATIONS PERIODIQUES DE TEMPÉRATURE

Les climats chauds et arides se caractérisent par de grandes amplitudes journalières, des rayonnements solaires intenses, une gamme de température journalière élevée et une basse humidité. La grande différence entre la température de jour et celle de nuit la moins élevée, dans les régions arides, a exigé le recours à l'inertie thermique pour retarder la transmission de chaleur de sorte qu'elle atteigne l'intérieur dans la soirée et abaisser la température intérieure diurne. En même temps, la chaleur restituée la nuit sera évacuée par la ventilation

nocturne. Le temps que met l'onde thermique pour traverser un mur de façade prend le nom de retard (Shaviv Edna et al, 2001 ; Mazria E., 1981).

Le délai devrait être au moins de huit heures et les délais compris entre 8 heures et 4 heures sont encore avantageux. De plus longs délais n'amélioreront pas nécessairement les conditions internes puisque le gain de la chaleur, après un retard entre 20 et 30 heures, atteindra l'intérieur avec le gain de rayonnement solaire du jour suivant. Ce qui fait que l'ambiance intérieure n'est pas sensiblement améliorée quand le délai est augmenté au delà de huit heures (Evans M., 1980).

Une construction possédant une capacité calorifique élevée permet donc, dans une considérable, de contrôler les conditions thermiques intérieures dans les régions à amplitude de températures diurnes et à rayonnement solaire intense.

II.4.1.2.3. FAVORISER LA VENTILATION

Le mouvement d'air est important pour l'apport permanent d'air frais et l'évaporation par ventilation des polluants atmosphériques pour tous types de climats. Le taux de ventilation doit choisi afin de contrôler la température intérieure, la pollution et le mouvement d'air (Fordham .M, 2000).

Mais dans les climats chauds et secs, pendant le jour, la ventilation n'est pas nécessaire le refroidissement par évaporation du corps humain et elle est indésirable pour les échanges Je chaleur convective. Il est souhaitable de la réduire à un minimum (Givoni, 1978). En réalité, la ventilation n'est pas recommandée que si la température de l'air extérieur est plus basse que celle de l'air intérieur (Fordham M., 2000). Dans le cas des régions arides et chaudes, durant la nuit, la ventilation nocturne peut, donc, constituer un moyen de rafraîchissement intéressant.

La ventilation nocturne agit sur :

- L'évacuation des surchauffes dues aux apports solaires retardés ou internes.
- Le refroidissement de la masse du bâtiment, Dans les régions à climat chaud et aride, les effets cumulés de la ventilation nocturne et de l'inertie thermique sont très avantageux. La masse des murs se refroidit au court de la nuit sous l'effet de la ventilation et par rayonnement nocturne de la toiture, puis, au cours de la journée, elle absorbe la chaleur de

l'ambiance intérieure, tout en continuant à présenter des surfaces relativement fraîches. La maison passive fonctionne alors de façon inversée. On ouvre le bâtiment à la fraîcheur de la nuit quand les températures sont au plus bas dehors pour stocker cette fraîcheur dans l'inertie thermique intérieur des locaux ; puis on le tient fermé le jour suivant pour se protéger de la chaleur et conserver le plus longtemps possible la fraîcheur des murs, cloisons et planchers et donc de l'ambiance intérieure (Mazria E., 1981). Les possibilités pour stocker l'énergie aident également en hiver, puisque la chaleur d'un jour ensoleillé d'hiver peut être stockée dans les murs pour un lendemain froid (Shaviv Edna, 2001).

II.4.1.2.4. LIMITER LES GAINS SOLAIRES

Dans des climats chauds et secs, où le ciel est presque toujours clair, les radiations directes que reçoit une surface horizontale présente 90% des radiations solaires. La proportion restante de 10% est due au rayonnement diffus qui se produit pendant qu'une certaine proportion de rayonnement solaire est dispersée en traversant l'atmosphère (Evans M., 1980). La quantité totale d'énergie interceptée par une surface comprend, non seulement le rayonnement direct, mais aussi les rayonnements diffus et réfléchis (Mazria E., 1981). Il est aussi démontré que la radiation solaire augmente le besoin de refroidissement de 25% (Mingfang T., 2002).

L'intensité du rayonnement diffus du ciel tombant sur une surface verticale, tel que le mur, sera la moitié de la valeur tombant sur une surface horizontale, puisque le mur est seulement exposé à la moitié du ciel. Ce rayonnement diffus tombera sur toutes les surfaces verticales, pas simplement celles exposées au rayonnement direct, mais aussi les surfaces ensoleillées qui recevront de plus grandes quantités. Les surfaces verticales recevront également le rayonnement diffus reflété par la terre (Bouvier F., 1989 ; Evans M., 1980 ; Mingfang T., 2002).

Ces rayonnements solaires directs ou diffus reçus par les surfaces externes de l'enveloppe architecturale sont, soit absorbés, soit réfléchis, (le cas des matériaux opaques), comme ils peuvent être aussi transmis dans le cas des matériaux transparents. Une très simple équation permet d'exprimer la relation entre les parties absorbées (a), réfléchies (r) et transmises (t) de l'énergie reçue : $a + r + t = 1$ (Givoni, 1978).

Donc, on peut contrôler les échauffements dus aux apports solaires en abritant le bâtiment du soleil et en premier lieu, les surfaces vitrées les plus exposées, ou tout au moins, en réduisant les surfaces de l'enveloppe exposées au soleil et par des choix convenables des matériaux de construction.

✓ *L'ombre comme stratégie de contrôle de l'apport énergétique solaire :*

Une protection contre les gammes à hautes températures, peut être établie par une réduction des surfaces externes et une protection de celles ensoleillées.

a. Application au niveau de la forme urbaine :

Au niveau de la forme urbaine, l'étroitesse des rues et la hauteur des constructions assurent un ombrage mutuel des façades. Selon l'orientation, ils peuvent également intercepter les rayons solaires bénéfiques en période froide. Il faudra également souligner que ces rapports entre la largeur des rues et la hauteur des constructions représentent une stratégie utilisée aussi pour protéger les espaces extérieurs ainsi que les bâtisses contre les vents, chauds, d'été et ceux, froids, de l'hiver (Fardheb, 1987; Belakhal, 1995).

b. Application au niveau de l'enveloppe et de détail de construction :

Lorsque l'on sait exactement comment le soleil se propage sur un bâtiment, cela permet de calculer avec précision l'ombre portée par des bâtiments voisins ou par l'environnement, et de savoir utiliser la forme physique d'un bâtiment pour contrôler l'énergie solaire.

Il est confirmé que par l'ombrage, on peut réduire le besoin en refroidissement des constructions de 23 à 89% ce qui affirme, d'autre part, une amélioration thermique de l'espace intérieur (Dubois M-C, 2001).

Par l'application de la "méthode des angles d'occultation" qui s'applique aux formes élémentaires telles que " l'auvent", les "joues latérales" et "le vis à vis", à partir desquelles il est possible de construire les diagrammes de transmission de la " loggia " ou du " patio ", on peut assurer la protection des parois (Izard J. L., 1994). On peut aussi assurer une protection des parois par des éléments plats :

Murs doubles : ils constituent une paroi additive à celle porteuse et pouvant être totalement opaque ou perforée.

Texture et décoration : le crépissage, l'appareillage des matériaux de construction peut aussi contribuer à ombrager les surfaces des murs (Belakhal, 1995).

✓ *Forme et orientation du bâtiment* :

« La forme optimale d'un corps de bâtiment correspond à celui qui lui permet de perdre 101 minimum de chaleur en hiver et d'en gagner un minimum en été. » (Mazria E., 1981).

Dans les expériences effectuées par Tang Mingfang, l'orientation optimale en été et en hiver, est le Sud, malgré que la forme cubique offre une surface minimale extérieure, la forme allongée dans la direction Est-Ouest est la forme optimale pour les conditions d'été et d'hiver. Plusieurs modèles de formes parallélépipédiques de même volume sont utilisés afin d'optimiser les proportions dimensionnelles pour une meilleure réponse thermique en été. Une comparaison des proportions (Q/Q_0) de rayonnement solaire reçu par la surface externe des divers parallélépipèdes, pendant la journée et par unité de surface Q , à celui du cube est mentionnée dans le tableau. 1, dont $P= H/W$, $X=L/W$ (Figure. II.33). Une réduction de 4% de gain thermique peut être atteinte en été avec un proportionnement optimal et ce, pour les parallélépipèdes (Mingfang T., 2002).

Dans l'étude de l'influence d'éléments climatiques et thermiques sur différentes formes de construction, Victor Olgyay a, aussi, conclu que :

- Le carré n'est pas la forme optimale, quelque soit la localisation de la construction.
- Toutes les formes allongées, dans la direction Nord-Sud, sont moins efficaces que la forme carrée.
- La forme allongée, dans la direction Est-Ouest, est la forme optimale dans chaque cas et pour tous les climats (MazriaE., 1981).

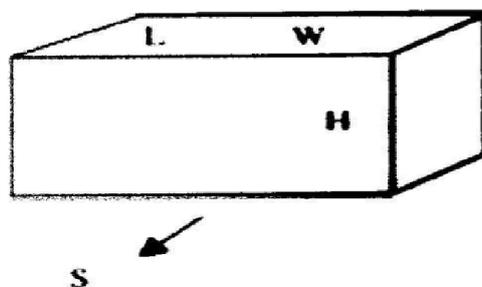


Figure.II.33. Présentation de la forme et de son orientation. Source : Mingfang Tang, 2002, p. 663.

✓ *Ouvertures :*

Dans des climats chauds, ou au moins pendant les saisons chaudes, la lumière directe du soleil devrait être exclue. L'éclairage excessif ne devrait pas exister pour deux raisons :

- La lumière du soleil, même lorsqu'elle est reflétée ou diffusée, peut élever les températures internes.
- La lumière forte peut causer l'inconfort visuel.

Dans les régions à climat sec et chaud, où les cieux nuageux sont très rares, les fenêtres devraient être aussi petites que possibles. Les techniques de prévision d'illumination indiquent qu'avec des surfaces raisonnablement réfléchissantes, une ouverture de 10% de la surface des murs externes donne une lumière proportionnée (50 lumens/m^2) dans une pièce domestique de $4 \times 4 \times 3 \text{ m}$. C'est l'équivalent environ de 8% de la surface couverte. Cette petite fenêtre devrait être placée de sorte que la vue principale à l'extérieur soit dirigée vers le ciel bleu. Une position élevée de la fenêtre permettra également à la lumière du soleil reflétée par la terre d'être reflétée par le plafond. Des fenêtres, à côté des murs internes, permettront également à la lumière d'être reflétée par ces murs, et ceci améliorera l'illumination de l'espace interne en évitant la lueur provoquée par la différence dans les niveaux de lumière (Evans M., 1980).

La quantité d'énergie traversant une baie vitrée dépend, pour une latitude donnée, de son environnement extérieur, son exposition, le *type* de vitrage utilisé et de la présence d'éventuels brise-soleils ou autres occultations.

- a. L'environnement commande la durée réelle de l'ensoleillement de la baie.
- b. L'exposition de la baie détermine la durée d'ensoleillement, mais aussi la répartition diurne et annuelle de l'énergie incidente, et donc celle de l'énergie transmise selon le type de vitrage.
- c. Le type de vitrage utilisé influe sur la quantité d'énergie transmise à l'intérieure par l'intermédiaire de la proportion du rayonnement incident qui est réfléchi et qui dépend de l'angle d'incidence.
- d. Le brise soleil est un dispositif destiné à régler la pénétration solaire à l'intérieur du bâtiment, ou même à l'empêcher en saison chaude. L'efficacité de ces dispositifs se mesure par le facteur d'occultation, qui

est le rapport de l'énergie transmise et de l'énergie incidente (Izard J. L., 1978).

II.4.1.2.5. FAVORISER LE REFROIDISSEMENT PAR RAYONNEMENT NOCTURNE

Le rafraichissement par rayonnement nocturne peut s'avérer un moyen efficace d'adaptation de l'architecture aux conditions d'ambiance chaude. C'est un moyen naturel qui dépend du facteur d'émission de la surface externe et des conditions atmosphériques : un ciel clair et sec, avec une température radiante basse, a généralement pour résultat d'optimiser ce mode de refroidissement. Le rayonnement est efficace surtout sur la toiture, qui est la surface la plus exposée au ciel.

Les températures nocturnes des surfaces, pouvant rayonner vers l'espace, sont de 2 à 6 °C inférieures à celles de l'air ambiant, et jusqu'à 8 à 9 °C par temps très sec et très calme (Bouvier F., 1989). On peut atteindre des meilleurs résultats de refroidissement par des matériaux d'une grande émissivité thermique dont la couleur ne constitue pas un indicateur (Givoni, 1979).

II.4.1.2.6. FAVORISER LE REFROIDISSEMENT PAR ÉVAPORATION

Le refroidissement, par évaporation, est employé sur une grande échelle pour refroidir l'air intérieur des bâtiments dans les régions arides. L'utilisation de l'eau dans une atmosphère chaude et sèche provoque son évaporation, et pour s'évaporer, l'eau a besoin de l'énergie pour se transformer de l'état liquide à l'état gazeux, ce qui provoque la réduction de la température de l'air et par conséquent son rafraichissement et son humidification.

II.5. CONCLUSION

Ce chapitre est considéré comme point de départ de la modélisation qui va être présentée ultérieurement. Il présente un rappel théorique des connaissances de base de l'architecture bioclimatique, issue d'une analyse bibliographique ; il vise le climat, le confort thermique, une définition du contexte climatique d'étude et des stratégies de régulation thermiques dans des conditions d'un climat chaud et sec.

CHAPITRE III

***PROCESSUS DE CONCEPTION
ARCHITECTURALE***

« On ne peut comprendre un processus en l'interrompant. La compréhension doit rejoindre le cheminement du processus et cheminer avec lui ».

« Distinguer le «raisonnable» et le «rationnel». Le premier inclut l'intuition et l'affectif. Le second n'implique qu'un déroulement correct du processus logique ».

Frank Patrick Herbert
Livres de L'Espace prend la forme de
mon regard (1965).

III.1. INTRODUCTION

Le discours qui portait sur le projet (notamment, esthétique, composition, forme, etc.) s'est déplacé vers le processus lui-même, lequel est devenu un enjeu majeur de la recherche en architecture. L'une de Principales raisons qui ont incité certains chercheurs ou professionnels à se pencher sur le processus de conception est le constat d'une complexification croissante de la pratique des disciplines de la conception, principalement l'architecture, qui rend selon eux, la méthode traditionnelle désuète. Cette réflexion sur le processus de conception est assez récente puisque celui-ci est a émergé comme sujet d'étude reconnu à la fin des années 1950. Certaines approches tentèrent de traiter les problèmes de la conception architecturale selon des règles scientifiques, d'autres nièrent ce qui est accessible à l'expérience direct et cherchèrent à découvrir les voies insaisissables du processus de conception architecturale.

A travers ce chapitre, nous avons essayé d'explorer les différentes théories et modèles éclatées relatives au processus de conception architecturale dans le but est d'arriver à comprendre le processus de conception.

III.2. APPROCHES METHODOLOGIQUES DU PROCESSUS DE CONCEPTION

Une des approche méthodologique et celle utilisée en grande Bretagne, Cette Approche est à caractère méthodologique visant le projet (Asimov (1962), Alexander (1964), Booker (1964). Archer. Reswick (1965), Jones (1966), Broadbent (1973), Cross (1977)), où la théorie s'attache au processus de conception plus que sur une culture historico-critique. Cette réflexion cognitive *mathématico-technique* s'instaure au début des années 60. En réduisant la réflexion théorique à une pensée positive (Th. Adorno), tout facteur irrationnel sera négligé au profit d'une démarche à rapport positif avec la technique et ses méthodes. Le processus de

conception traditionnelle et intuitive sera critiquée dans son irrationalité, comparée au processus scientifique rationnel, systématique, logique et analytique, instruit dans les multiples champs de la production industrielle (Guibert D, 1987)

L'orientation méthodologique s'inspire des travaux des mathématiciens de l'après-guerre et représente la conception comme un processus de résolution d'un problème (problem-solving). Sous cet angle, la conception perd sa connotation Artistique (où les buts et les standards sont auto-imposés) ainsi que scientifique (formalisation d'hypothèses à valider). Toutefois, un premier obstacle méthodologique se pose: le problème Architectural est mal défini (ill-defined) et mal structuré (ill-structured). C'est un problème à caractère vicieux (Wicked problem) (Reittel, 1967) dont la formulation est non-définitive. La recherche méthodologique abandonne alors, peu à peu, l'idée d'une rationalisation systématique du processus de conception et se trouve bipolarisée entre 02 tendances :

- Une approche traditionnelle, irrationnelle et intuitive : Black box theory.
- Et une approche systématique et rationnelle : Glass box theory.

III.2.1. LA THEORIE "BLACK BOX"

Cette théorie adopte l'idée qu'une grande partie du processus de conception se développe au sein du cerveau du concepteur dont les processus mentaux sont, par définition, essentiellement opaques (fig.III.1). Dans les systèmes informatiques l'intelligence artificielle, l'avantage d'un système *black box* réside dans le fait que la représentation peut être modifiée afin de répondre aux besoins du problème sans briser l'enchaînement des réflexions.

La théorie Black box défend une vision plus artistique où l'intuition et l'illumination sont essentielles au processus de conception.

Les travaux d'Henri Poincaré sur la théorie de l'invention fondés sur les fonctions fuchsienues explicitent le processus de gestation des idées et leur surgissement à la conscience du concepteur.

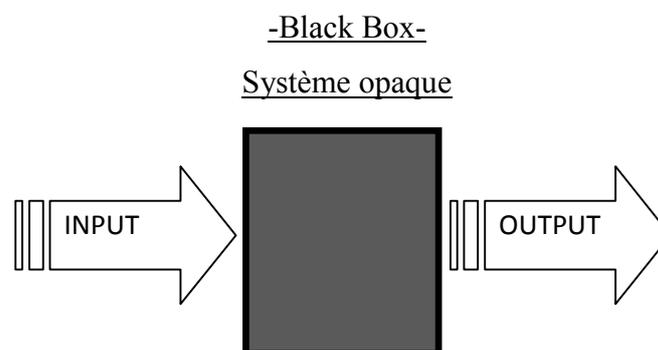


Figure.III.1. Système opaque de la théorie de la boîte noire.

III.2.2.LA THEORIE "GLASS BOX"

Cette théorie (Jones) sur l'extériorisation de la pensée consiste en le fait que le concepteur possède des connaissances approfondies sur ses conceptions et sur le déroulement de leurs processus. En intelligence artificielle, cette théorie se caractérise par une représentation uniforme de la connaissance et du savoir ou tout le processus et explicable et contrôlable, ce qui facilite l'apprentissage et l'auto réflexion (fig. III.2)

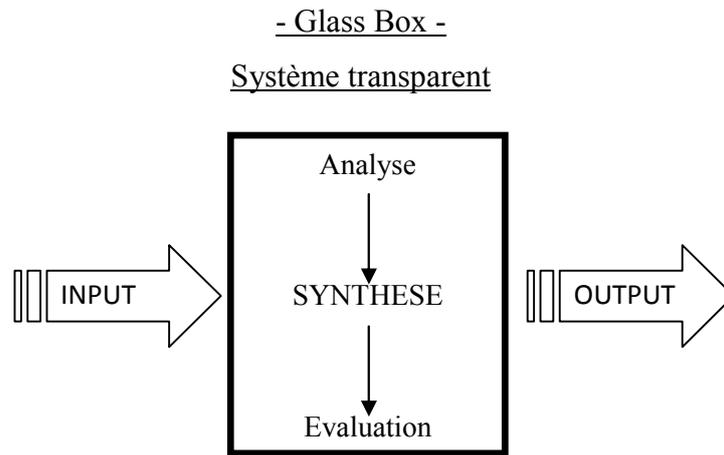


Fig.III.2 - Le système transparent de la théorie ; Glass box.

Glass Box	Black Box
-Entrée identifiable et quantifiable. - Input défini -	-Entrée inconnue. - Input mystérieux -
-Processus défini.	-Processus non défini.
-Sortie définie et identifiable. - Output défini -	-Sortie (effet de surprise). -Output brusque et surprenant.
-Plus adaptable pour l'analyse. - Pas de nouveauté.	-De nouvelles solutions émergent. -Les solutions ne sont pas souvent bien testées.

Tab.III.1 - Les théories Black box et Glass box.

Ray Studer souligne qu'un bon processus de conception réitère et se balance entre ces deux approches.

- Résoudre les problèmes avec l'approche Black Box.
- Tester les solutions avec l'approche Glass Box.
- Résoudre les problèmes résiduels (découverts par les tests) avec l'approche Black Box.

III.3. LES DIFFERENTS MODELES CONCEPTUELS

Plusieurs taxonomies relatives aux modèles du processus de conception (Roozenburg & Cross (1991), Konda et al. (1991), Dufrasnes (1996)) ont été élaborés. Elles couvrent différentes versions relatives à l'approche méthodologique. La taxonomie de Konda et al. semble être la plus intéressante, en englobant l'ensemble des modèles de conception depuis les années 1960.

III.3.1. LA TAXONOMIE DE KONDA ET AL. (1991)

Konda et al. (1991) proposent une taxonomie qui classe les différents modèles de conception entre ceux axés sur le processus et ceux axés sur l'artefact (modèles procéduraux).

III.3.1.1. Les modèles axés sur le processus (design process models)

Les modèles axés sur le processus incluent les modèles d'engineering, les modèles Architecturaux ainsi que d'autres modèles, à savoir le modèle hybride de Cross (1989) et la science générique de conception de Warfield.

III.3.1.1.1. Le modèle d'engineering

C'est un modèle à base de prescription, où le processus de conception est décrit comme une séquence d'activités vers des résultats intermédiaires. Les problèmes conceptuels d'engineering sont considérés comme des problèmes en sciences naturelles, où la conception doit procéder de l'abstrait au particulier afin de garder l'espace des solutions aussi large que possible.

III.3.1.1.2. Le modèle architectural

Le modèle Architectural ou méthode systémique est à base descriptive. La différence entre le modèle d'engineering et le modèle Architectural est relative au domaine du savoir propre à chaque modèle ainsi qu'à la nature des problèmes, étant clairement définis en engineering et mal définis en Architecture. Dans les années 70, Hillier et al. (1972) et Darke (1984) suggéraient que le *modèle Analyse-Synthèse d'Asimov* (fig III.3) selon lequel l'analyse du problème doit précéder la solution en tant que synthèse, est basé sur une vision fallacieuse du rôle de l'induction en science.



Fig.III.3- Le modèle linéaire Analyse-Synthèse d'Asimov.

Hillier et al, essayèrent de changer la partie Analyse-Synthèse du modèle en une phase Conjecture-Analyse durant laquelle le concepteur doit développer une solution-conjecture qui va subir une analyse ainsi qu'une évaluation.

Roozenburg & Cross critiquèrent la nature linéaire et séquentielle au schéma Analyse-Synthèse-Evaluation, qui doit être rejeté au moins en Architecture, et remplacé par un schéma à structure spirale qui encourage des pré-structures ainsi qu'un cycle conjecture-analyse dans lequel une compréhension à la fois de la solution et du problème est envisagée en parallèle.

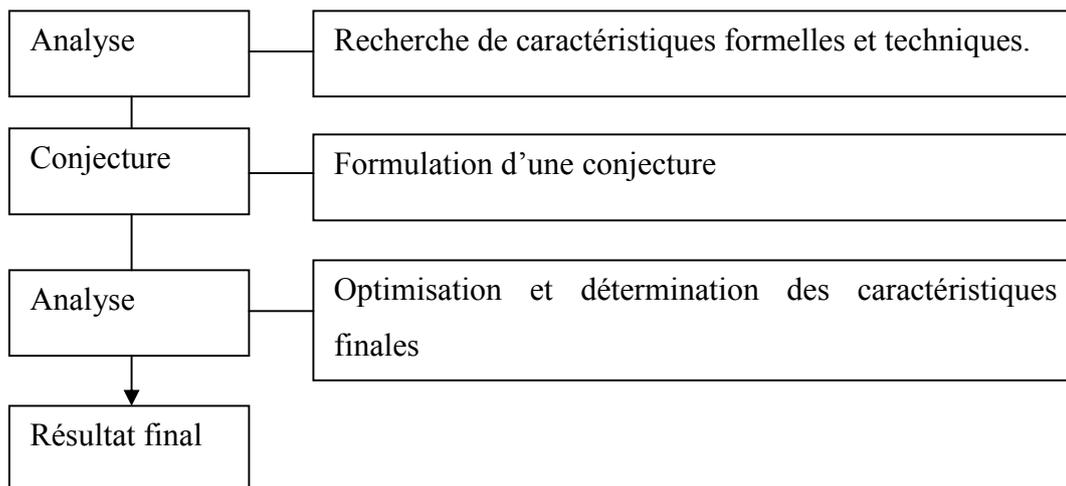


Fig.III.4- schéma non linéaire de conception. Source Cours Pr Mazouz 2011.

Plus récemment Pahl et Beitz (1984) ont élaboré leur modèle de conception architecturale. Ce modèle présente le processus de conception comme itérativement passant par quatre étapes. Ces étapes sont: la *clarification des tâches*, le *design conceptuel*, la *conception globale* et les *détails de conception*. Chaque étape est accomplie par le procédé suivant, lui-même subdivisé en sept étapes:

1. Clarifier et définir la tâche: *Caractéristiques (spécifications)*
2. Déterminer les fonctions et leurs structures: *Structures des fonctions*
3. Rechercher des principes de solutions et leurs combinaisons: *Structures principales*
4. Diviser en modules réalisables: *Structure des modules*

5. Développer les agencements des modules principaux: *Agencements préliminaires*

6. Compléter l'agencement global: *Agencement définitif*

1. Préparer la production et les consignes d'utilisation: *Documents du produit*

Ce modèle présente une procédure systématique pour développer une bonne et complète compréhension du problème, le subdivisant vers le haut en plus petits problèmes, résolvant ces plus petits problèmes et combinant les solutions pour obtenir la solution globale.

III.3.1.1.3. Le modèle pédagogique-professionnel de Füeg (1982)

Dans un contexte, puisant ses références pédagogiques et professionnelles d'une volonté de mieux définir les modalités de la pratique Architecturale, le modèle de Franz Füeg (1982) envisage le processus de conception Architecturale comme étant un processus de comportement de la personnalité, à accompagner d'une réflexion et d'une action, progressant d'une idée à une autre par une nécessité logique (Füeg 1985). Elle dépend, en plus de la fantaisie, l'inspiration, l'intuition et le talent, de certains concepts, à savoir :

1. La classification des situations.
2. Le renouvellement des variantes et des modèles.
3. L'élaboration des détails. .
4. La découverte de l'interaction.
5. L'action logique et illogique.
6. La domination de la contradiction.

Comme concepts significatifs et générateurs : *la classification, le renouvellement, la maîtrise de la contradiction, l'illogique et la logique dans l'action* ainsi que *le traitement de l'interaction* sont présentés par Füeg en tant que symbiose intellectuelle et mentale nécessaire au processus de Conception Architecturale. .

III.3.1.1.3.1. Connaissances et aptitudes

La classification, le renouvellement et la maîtrise de la contradiction sont des concepts de base dans le modèle de Füeg (1982) qui propose aussi 04 aptitudes indispensables à la Conception Architecturale dans un champ large de possibilités, à savoir :

- La connaissance des éléments.
- L'expérience.
- Une puissante imagination.
- L'aptitude à l'autocontrôlé. .

- La connaissance des éléments: L'acquisition des connaissances élémentaires, partielles, mais très précises, dans le détail, sur un grand nombre d'éléments, à savoir : la physique du bâtiment, les matériaux, etc. ... Souvent, des connaissances relatives à des principes de base sont suffisantes (Füeg 1985).
- L'expérience: L'acquisition de l'expérience, à travers l'étude et l'analyse des réalisations existantes et des principes de base théoriques. Cette expérience permet de poser les conditions et marquer les préférences pour les solutions des problèmes (Füeg 1985).
- La force d'imagination : Pour l'analyse et la résolution des problèmes, l'Architecte dépend essentiellement de sa force d'imagination. Par cette force d'imagination, on entend plusieurs choses, à savoir :
 - ✓ *La reconnaissance des éléments*: La faculté de reconnaître, de manière précise, les relations entre les systèmes et leurs propriétés.
 - ✓ *La réceptivité*: La faculté de réception des faits isolés et la capacité de les ordonner en corrélations systématiques.
 - ✓ *Le don d'observation* : Afin de pouvoir résoudre les problèmes avec des concepts architecturaux, tout l'être doit participer à cette observation, tous les sens et toute la sensibilité humaine. Cette dimension subjective d'observer et d'évaluer s'ajoute à l'objectivité des faits scientifiques (Füeg 1985)
 - ✓ *L'intuition* qui est nécessaire pour la bonne raison que les possibilités de solutions, disponibles en grande quantité (à l'infini), ne peuvent être examinées à fond et pondérées pour des raisons de temps.
- L'aptitude à l'autocontrôle : Chaque proposition de solution, partielle ou globale, d'un problème doit être soumise à un contrôle réfléchi, par lequel on examine si les éléments du concept correspondent à des faits objectifs. Les traits de caractère de l'Architecte jouent un rôle plus important lors de l'autocontrôle que lors d'autres occupations.

III.3.1.1.4. Le modèle de BROADBENT (1988) ou approche formelle

Le modèle de Broadbent se base sur une étude historico-Archeologique et propose quatre canaux concept, à savoir: l'approche *Pragmatique*, l'approche *typologique (Iconique)*, l'approche *Syntactique (canonique)*, et l'approche *Analogique* (Broadbent G 1988), à travers lesquels plusieurs œuvres créatives ont émergées tout au long de l'histoire. L'approche analogique semble la voie la plus stimulante de la créativité Architecturale.

III.3.1.1.4.1. L'approche pragmatique

L'approche pragmatique est l'approche conceptuelle la plus primitive basée sur un processus réaliste d'essai erreur, en exploitant les moyens disponibles. Cette vision de la conception Architecturale met en premier lieu la modification des conditions climatiques en vue d'assurer un certain niveau de confort pour abriter les activités humaines et réconcilier entre le climat et les besoins humains (ex : l'igloo des esquimaux, le Village Gourna de Hassan Fathy). Cette approche est aussi relative à la découverte des potentialités des nouveaux matériaux de construction.

III.3.1.1.4.2. L'approche syntactique (canonique)

L'approche canonique est l'approche conceptuelle la plus intellectuelle. Confronté à un problème de conception, l'Architecte est souvent fasciné par son dessin au point de développer un intérêt pour l'ordre, les proportions et la régularité exprimé sous forme de trame ou d'un tracé régulateur (fig.III.5). Afin de bien maîtriser leurs décisions conceptuelles, certains concepteurs cherchent l'autorité d'un système géométrique. Cette quête d'autorité s'est développée à travers le système canonique des ordres (ionique, dorique,...). L'influence de la géométrie Platonicienne sur l'Architecture des cathédrales du moyen âge jusqu'à l'intérêt actuel pour les systèmes modulaires.

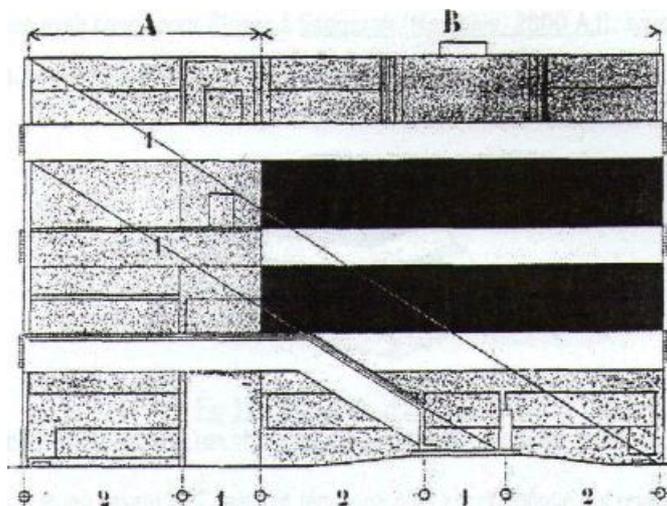


Fig.III.5 - L'emploi du tracé régulateur dans la composition d'une façade (Villa Stein (Le Corbusier)). Source: "Le Corbusier, Architecte Artiste", CD-ROM Mac/PC. (Paris. Fondation Le Corbusier & infinitum publications).

III.3.1.1.4.3. L'approche typologique (iconique)

La dualité entre un climat à contrôler et les ressources constructives nécessaires pour ce contrôle est une des raisons qui ont poussé l'imaginaire collectif à véhiculer certains

archétypes formels ayant prouvés leur efficacité. Toutefois, d'autres raisons d'ordre culturel encouragent un certain conservatisme formel et technique. Autrefois, l'imaginaire tribal véhiculait, de génération en génération, les secrets du métier où chaque membre de la tribu possédait une image mentale fixe de ce que devra être la forme de la maison et sa distribution spatiale (Broadbent G 1988). Certaines œuvres Architecturales de Mies Van der Rohe témoignent d'une dominante iconique où plusieurs facteurs sont négligés au profit de l'application de certains slogans: "less is more". La tendance historiciste de l'Architecture Post-Moderne révèle aussi quelques exemples de cette Architecture iconique (fig.III.6).

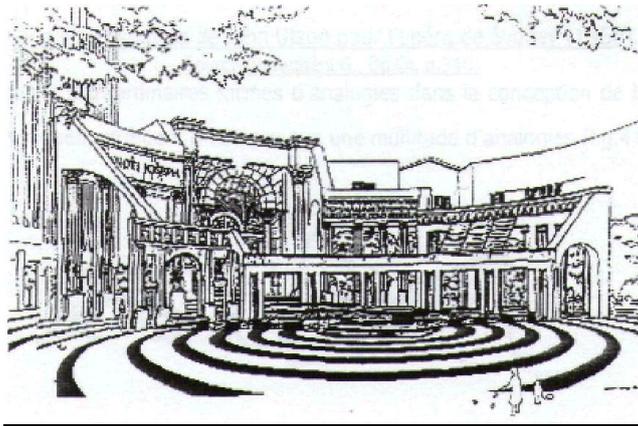


Fig.III.6 - Piazza d'Italia (Charles Moore, 1975-1978).

Source: Benevolo L, 1988.

III.3.1.1.4.4. L'approche analogique

L'approche analogique a toujours représenté la source conceptuelle la plus créative en Architecture. Plusieurs exemples historiques d'analogies Architecturales témoignent du processus de réinterprétation formelle que peut assurer le concept d'analogie.

L'ensemble funéraire qu'Imhotep avait conçu pour Djoser à Saqqarah (Memphis. 2800 A.), sous forme pyramidale dégradée en analogie avec un tas de pierres, une solution pragmatique contre l'accumulation du sable (fig.III.7)



Fig.III.7 - Pyramid d'Imhotep. Source: Churcher B. "Understanding art -the use of space, form and structure", (Kolmes McDougall, Edinburgh, 1973), p.92.

Plusieurs exemples montrent que le jeu savant de l'analogie témoigne d'un esprit critique qui révèle un vrai talent de manipulation des formes tridimensionnelles. L'œuvre de Frank Lloyd Wright révèle un certain nombre d'analogies, à savoir: l'unité structurelle du Johnson Wax company's administration building (1936) & tower (1951), en analogie avec la forme d'un champignon. L'opéra de Sydney de John Utzon (1956) révèle aussi une analogie directe avec les voiles d'un yacht en pleine mer (fig.III.8).



Fig.III.8 - Esquisse de John Utzon pour l'opéra de Sydney (1956). Source: Broadbent G, 1988.

L'œuvre de Le Corbusier véhicule d'extraordinaires formes d'analogies dans la conception de la chapelle de Ronchamp (1953).

Plusieurs interprétations métaphoriques attribuent à cette œuvre une multitude d'analogies (fig.III.9).



Fig.III.9 - Exemple d'une des interprétations d'analogie dans l'œuvre de Le Corbusier (Ch. Ronchamp, (1953)). Source: Churcher B, 1973.

III.3.1.1.5. Le modèle hybride (CROSS, 1989)

Ce modèle cherche à se baser sur la prescription tout en ayant une nature descriptive. Il spécifie une dépendance entre la définition du problème et les solutions et entre l'identification des sous-problèmes et la génération des sous-solutions, sur tous les niveaux de la décomposition hiérarchique. Toutefois, il reconnaît la nécessité de construire une solution générale à partir des sous-solutions, par la génération, la combinaison, l'évaluation et le choix des sous-solutions appropriées.

III.3.1.2. LES MODELES AXES SUR L'ARTEFACT

Les théories d'Artefact se basent sur la prémisse que la conception commence avec une raisonnable et complète spécification fonctionnelle et que les méthodes universelles existent et peuvent être utilisées afin de produire une spécification d'artefacts (General Design theory (GDT) (Yoshikawa. 1987), (Tomiyama et al. 1989), theory of plausible designs (Dasgupta 1989)). Les premières approches d'intelligence artificielle tentèrent de réduire la variété des méthodes de conception en une multitude de recherches dans des espaces de problèmes. Les récentes recherches dans ce domaine permettent l'infinité de l'espace des problèmes par sa définition à travers une grammaire au lieu d'une représentation fixe. Contrairement aux êtres humains, les représentations informatiques actuelles ont des limites strictes concernant leur mutabilité et peuvent seulement varier des contraintes dans des directions bien spécifiques.

III.3.2. LA TAXONOMIE DE DUFRASNES

La recherche de Dufresnes (1996) nous a permis d'élaborer une taxonomie des différents modèles relatifs à la conception Architecturale au cours du XX^{ème} siècle. Cette taxonomie se base sur le profil philosophique de chaque modèle, ce qui nous oriente à en déduire les modèles suivants :

III.3.2.1. L'INDUCTION

Face aux difficultés d'application de la méthode cartésienne dans le champ de la conception Architecturale, le concept d'induction s'imposa face à un cheminement déductif. Le recours à l'empirisme où l'inné est rejeté au profit de l'expérience et où le cheminement va de l'élément concret le plus élémentaire au plus complexe. La méthode inductive se base sur les points suivants :

1. Observation du phénomène concret à plusieurs reprises pour tenter de dégager des invariants.

2. Formulation des hypothèses servant de base pour la formulation d'une théorie générale.

3. Vérification des hypothèses.

La méthode inductive a conduit à considérer la conception comme une attitude de résolution d'un problème (problem-solving). Parmi les modèles inductifs figure la 1^{ère} théorie d'Alexander (1959) (de la synthèse de la forme). L'essai d'Alexander porte sur le processus de conception dont l'objet final est la forme et considère comme fondement pour le travail Architectural, le dialogue entre forme et contexte (Alexander Ch1979). Le processus de conception est ainsi la réduction de la variété potentielle des solutions possibles et le dégagement par élimination suivant les contraintes formulées d'une solution. Les ensembles des exigences suggèrent fortement une forme physique, ce qui règle sous forme d'une application mathématique tous les rapports associant les parties du projet (fig.III.10). C'est une situation de résolution d'un problème qui se constitue d'une imbrication de milliers de problèmes et sous-problèmes (complexité). Toutefois, cette approche fut critiquée pour sa linéarité (démarche arborescente) et son manque d'interrelations.

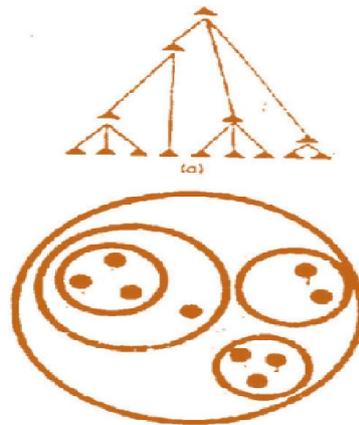


Fig.III.10- Décomposition du problème Architectural.

Source: (Alexander, 1964) Broadbent G, 1988

III.3.2.2. LA RAISON CRITIQUE

En réaction à la raison linéaire, des philosophes et des Architectes tentèrent de fonder une nouvelle approche Popper avança un processus heuristique qui sera interprète par Alexander (1979) dans sa 2^{ème} théorie ainsi que par Zeisel (1984). Popper propose d'élaborer une méthode empirique basée sur une pensée critique pour préciser les conditions de réfutation (démontrer la fausseté d'une affirmation) pour cerner la vraisemblance et non la vérité. Après sa 1^{ère} théorie, Alexander (1979) s'intéressa à concrétiser une méthode ce

communication entre les formes de l'espace et ses usagers a travers des modèles (*patterns*). Pour élaborer ce langage, il développa un graphe dynamique de type heuristique allant du général au particulier en procédant par décomposition où chaque stade est analysé en fonction de ses tenants.

Dans un autre volet, Zeisel (1984) proposa une démarche spirale ouverte conduisant a des solutions différentes pour chaque Architecte (fig.III.11). Elle appelle à une méthode heuristique fondée sur une approche séquentielle d'essais et de vérification critiques. 05 points-clefs caractérisent ce processus (Zeisel J.1984):

1. 03 activités conceptuelles élémentaires interconnectées : *l'imagination, la présentation et la vérification.*
2. L'information utilisée dans le processus de conception s'opère selon 02 voies : comme *catalyseur heuristique* pour l'imagination et comme *corps de connaissances* pour la vérification.
3. Le processus de conception est une série d'arrangements conceptuels et de sauts créatifs.
4. Le concepteur opte pour une solution acceptable parmi une série de solutions possibles.
5. Le développement créatif d'une conception est le fruit d'un *cycle répété et itératif* a travers les activités conceptuelles élémentaires. C'est un *développement cyclique en spirale*

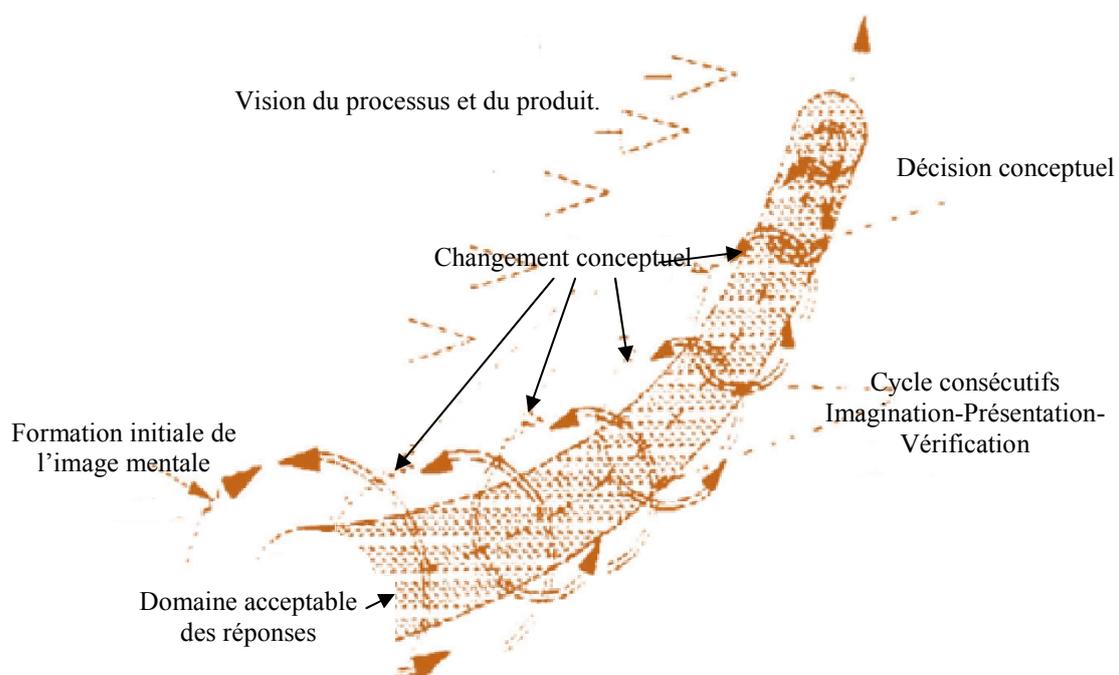


Fig.III.11 - Démarche spirale de Zeisel (1984).

III.3.2.3. LES SCIENCES DE L'ARTIFICIEL (SIMON, 1966)

Herbert Simon développa dans les années 60 une réflexion sur la conception en tant qu'essence de toute activité professionnelle, Le projet Simonien apportait un point de vue général sur la question de la conception et des "Sciences de l'Artificiel" où l'activité par laquelle sont produits les artefacts matériels n'est pas fondamentalement différente d'autres activités intellectuelles (Prost R.les annales N°47) Simon s'engage dans un parcours épistémologique autour d'un questionnement relatif à : comment pourraient être les choses ? au lieu de comment sont les choses ?

III.3.2.4. L'APPORT DES DEMARCHES INTUITIVES

En opposition aux réflexions scientifiques du rationalisme, les démarches intuitives défendent une vision plus artistique où l'intuition et l'illumination sont essentielles au processus de conception. Depuis 1832, le *conceptualisme* constitue une théorie selon laquelle les concepts sont considérés comme les produits d'une construction de l'esprit. Dans un cadre de résolution d'un problème, le concepteur met en place une série d'hypothèses avant de débiter une exploration consciente. Cette phase analytique a pour objectif la stimulation de la Créativité et l'effervescence de son intuition pour sortir en bloc, après décantation, un raisonnement cohérent sous forme d'images à formaliser dans l'œuvre (illumination) puis à valider à travers une phase de vérification (Dufrasnes E.1996). Ces idées se concrétisent dans une théorie de la boîte noire (Jones JC, 1970) selon laquelle le travail de conception se déroule hermétiquement dans le cerveau. Propre à la cybernétique, la théorie de la boîte noire cherche à éluder la complexité de la dimension conceptuelle avancée par Alexander & Chermayeff (Alexander Ch & Chermayeff S.1963) en considérant les inputs et les outputs pour en extraire les résultats du fonctionnement.

Dans un autre volet, Jane Darke (1978) conduit une observation sur le rôle de l'intuition dans la conception Architecturale dans 06 agences de Londres. Elle établit que le travail des Architectes ressemble à une succession de propositions de formes soumises aussitôt à un examen critique précédé d'une prise de position délibérée de l'Architecte, qu'elle appela : le générateur primaire". Le concept de générateur primaire associant un problème à une forme se résume en un déclencheur du processus de conception (fig.III.12).

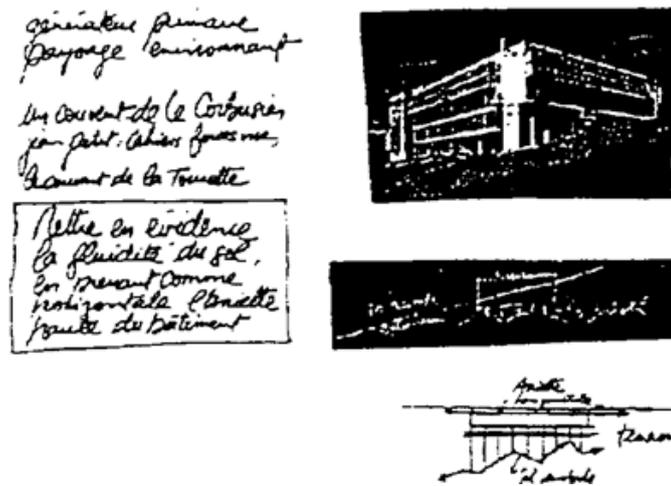


Fig.III.12 - Générateur primaire : paysage environnant (Couvent Ste Marie de Tourrette. Le Corbusier. 1957). Source : Dufrasnes E.1996.

III.4. CONCLUSION

Après ce préambule on peut arriver à conclure que :

L'axe de la méthodologie :

Cette tradition s'attache au processus de conception plus qu'à une culture historique. Elle représente la conception comme un processus de résolution de problème et le processus intuitif sera critiqué pour son irrationalité. Face à la mauvaise définition et structuration des problèmes en Architecture (Reittel, 1967), cette tradition se bi-polarise en deux distinctes théories, à savoir la théorie black box avec son approche intuitive, et l'approche glass box avec sa connotation rationnelle et systématique. Plusieurs taxonomies décrivent la tradition méthodologique, à savoir : la taxonomie de Konda et al. (1991) et celle de Dufrasnes (1996).

1 - La taxonomie de Konda et al. (1991) :

Le processus : les modèles axés sur le processus incluent les modèles d'engineering et le modèle Architectural. Le modèle d'engineering est à base de prescription où le problème est bien défini et traité en tant que problème en sciences naturelles. Le modèle Architectural est à base descriptive où le problème est mal défini. Le modèle linéaire d'Asimov sera critiqué pour sa linéarité et remplacé par une phase Conjecture-Analyse durant laquelle le concepteur doit développer une solution-conjecture qui va subir une analyse ainsi qu'une évaluation (Millier et al. (1972)).

L'Artefact : Les modèles axés sur l'archétype sont souvent des modèles d'intelligence artificielle (General Design theory (GDT) (Yoshikawa, 1987), Tomiyama et al. (1989), theory of plausible designs (Dasgupta. 1989)), où la conception consiste en une recherche dans des espaces de problèmes.

2 - La taxonomie de Dufrasnes (1996) :

La Raison : La méthode inductive a conduit à considérer le processus de conception comme une attitude de résolution d'un problème (Alexander, 1959). La raison critique (Popper) propose en corrélation un processus heuristique (Alexander (1979). Zeisel (1984)). Alexander élaborait une méthode basée de modèles (patterns) alors que Zeisel proposait une démarche spirale. Le modèle Simonien s'est imposé en considérant la conception comme l'essence de toute activité professionnelle.

L'intuition : Le concept de cette démarche considère que le travail de conception se déroule hermétiquement dans le cerveau. La démarche intuitive met en place une série d'hypothèses avant d'entamer une exploration consciente, dans le but de stimuler la Créativité. En 1978, Darke met en place une théorie sur les générateurs primaires qui associent un problème à une forme et jouent le rôle de déclencheurs du processus de conception.

Définir la Conception Architecturale

Il n'existe pas de manière infaillible de bien concevoir, Le problème et la solution deviennent plus clairs au fur et à mesure que le processus progresse, le résultat n'est pas la solution logique du problème, la prise de décision et l'évaluation des solutions dans la conception demeure une question de jugement, il n'y a donc aucun ordre d'opérations qui garantiront un résultat, cet ordre d'opérations ne peut être linéaire.

La conception est une activité prescriptive tandis que la science est principalement descriptive, donc le processus de conception ne peut avoir une fin identifiable puisque les problèmes de la conception offrent un nombre illimités et inépuisables de solutions.

Le processus de conception Architecturale peut être définie comme étant un processus cognitif dynamique, complexe, contraint, organisé, contextuel et situé d'exploration dimensionnelle, de traitement et de manipulation cohérente des informations; dans le but de générer une réponse à une situation ou à un problème.

CHAPITRE IV

ARCHITECTURE SCOLAIRE

IV.1. INTRODUCTION

Longtemps considérée comme l'un des piliers du développement social, l'éducation présente aujourd'hui des défis importants à l'échelle planétaire dont les débats occupent l'une des premières places dans les discussions sur le présent et sur l'avenir de la population mondiale. Ces débats se font à tous les niveaux et dans toutes les régions, avec une persistance qui confirme l'importance de l'éducation comme un droit et un facteur important du développement globale de l'individu et des sociétés et son rôle essentiel dans la contribution à la résolution des nouveaux défis de ce XXI^{ème} siècle tels que l'analphabétisme et l'ignorance.

Ce chapitre est consacré à la présentation des thèmes de l'éducation et de l'architecture scolaires dans leurs dimensions globales. Dans un premier temps, nous parlerons de l'architecture scolaire sur le plan international en essayons de retracer son histoire et son évolution, ainsi, montrer l'importance des établissements scolaires dans la société. Nous présentons aussi, les établissements scolaires en Algérie, tout en retraçons l'histoire de l'éducation en Algérie ainsi que l'évolution et les perspectives de développement du système éducatif algérien. Dans un second temps, nous essayons de montrer la relation entre l'architecture scolaire et l'efficacité éducative. A la fin du chapitre, nous donnons quelques définitions liées aux collèges d'enseignement moyen (CEM) ainsi que ces composantes du point de vue architectural.

IV.2. L'ARCHITECTURE SCOLAIRE SUR LE PLAN INTERNATIONAL

IV.2.1. ESSAI DE DEFINITION

L'établissement scolaire est un bâtiment architectural omniprésent dans le paysage urbain ou rural. C'est un des bâtiments publics que l'on rencontre le plus fréquemment. Sa conception relève du domaine de l'architecture scolaire, une architecture qui est pour l'élève un référent qui le marque pour la vie. C'est un lieu où il vit une de ses premières appréhensions de l'espace construit en dehors de son lieu d'habitation. Une architecture qui présente son propre caractère et exige des connaissances approfondies des pratiques pédagogiques et leur évolution dans le temps, elle a pour objectif principal d'offrir aux membres de la communauté scolaire les meilleures conditions de confort et de sécurité dans des espaces éducatifs de bonne qualité, conformément à une organisation architecturale adaptée à leurs activités, sans négliger l'amélioration de la qualité des équipements existants par des opérations de rénovation et de réhabilitation.

Les évolutions récentes ainsi que les changements intervenus dans les modes de prestation et l'organisation des formations relevant de l'enseignement ont eu des conséquences sensibles sur la production, la gestion et l'utilisation des équipements scolaires. Pour répondre à l'accroissement continu et soutenu des effectifs d'élèves, à la diversification du contenu et des modes de prestation des enseignements, les établissements adoptent une stratégie davantage axée sur les besoins de leurs clients.

MAZALTO (2007), affirme que l'architecture scolaire n'est pas neutre. Les chercheurs affirment que le milieu de vie où s'exercent les activités éducatives, joue un rôle capital dans le développement des individus, en particulier des enfants. En effet, L'architecture a une influence très forte sur la qualité d'un établissement scolaire et son efficacité pédagogique. Partant de ce principe que la qualité architecturale et environnementale de l'établissement scolaire est un élément essentiel à l'amélioration de la qualité de l'éducation plusieurs stratégies ont été mises en place par le monde visant à placer les élèves et le personnel enseignant dans les meilleures conditions possibles de travail. C'est ainsi que l'évolution de la conception architecturale des infrastructures éducatives se caractérise aujourd'hui par l'insertion des bâtiments dans leur contexte environnementale. Il est fréquenté par tous en tant qu'élève puis en tant que parent pour certains.

IV.2.2. HISTOIRE DE L'ARCHITECTURE SCOLAIRE

Jeter un regard en arrière sur les constructions éducatives implique de s'intéresser à l'histoire de l'architecture et à celle de l'éducation. La notion de bâtiments permanents construits pour abriter les activités humaines est très ancienne. L'histoire de l'éducation remonte à environs 2500 ans en arrière lorsque Socrate dispensait son enseignement sous les oliviers (BEYNON ,1998).

Tout au long de l'histoire, les sociétés ont mis en œuvre différents moyens pour assurer l'éducation de leurs membres et pour favoriser le passage d'un certain nombre de valeurs culturelles entre générations. Mais historiquement, l'émergence d'une architecture spécifiquement scolaire est tardive dans l'histoire de l'architecture, contrairement aux architectures militaire, religieuse ou de l'habitat. En effet, jusqu'au XIX^{ème} siècle, il n'y avait quasiment pas de construction spécifiquement scolaire. Pendant de nombreux siècles l'enseignement se déroule simplement là où se trouve le maître. L'éducation fut alors une pratique qui n'avait pas d'espace réservé.

L'évolution des méthodes pédagogiques a contribué à faire avancer l'architecture des établissements d'enseignement dans le monde, cette évolution peut être classée en plusieurs

périodes qui s'inscrivent dans le mouvement général de l'histoire de l'architecture, chaque période, en fonction de ses contraintes et de ses espoirs, a marqué de son empreinte les bâtiments scolaires.

Dans l'Antiquité, Platon qui au début, n'avait besoin que d'un jardin pour communiquer avec ses élèves, fonda par la suite une école de philosophie, qui s'appelait l'Académie, ensuite, son élève Aristote fonda sa propre école, qui s'appelait le Lycée.

La lecture attentive des documents se rapportant à l'éducation avant 1830, montre que les lieux d'enseignement, n'étaient pas autonomes en tant que tels, ils faisaient souvent partie des lieux spirituels. C'est aux niveaux des ZAOUTAS (édifice d'enseignement attenant à la mosquée), que se pratiquait d'une manière informelle l'enseignement des enfants et des adultes dans les sociétés Musulmanes par les causeries. Il en fut de même, en Europe, à la même époque où l'enseignement était dispensé dans les monastères ou dans et couvents. Pratiquement chaque édifice religieux quelque soit son importance, disposait de salles de classes.

De 1830 à 1850, apparaissent les premières instructions relatives à l'architecture et à l'aménagement des écoles, on passe alors peu à peu de la notion de « chambre » à celle de « la maison d'école » qui abrite en plus des logements des maîtres en des salles d'enseignement munies de longues tables et d'un pupitre. La façade est ordonnée et rentrée mise en évidence (BOUGRIOU, 2002).

En 1832, l'architecte Bouillon présente ses projets pour maisons d'écoles primaires, c'est le premier recueil de modèles pour les constructions scolaires en France. Ce sont sur ces plans types que s'appuie la politique suscitée par la loi Guizot du 28 juin 1833 avec « la charte de l'éducation de l'Instruction publique ». C'est ainsi que l'idée de création d'école publique apparaît.

Au XIXe siècle, la généralisation de la formation apparaît comme une nécessité. Dans la plupart des états, des systèmes d'enseignement sont mis en place, sous des formes qui perdurent encore de nos jours. Gratuité, laïcité et obligation scolaire marquent les débuts de l'architecture scolaire populaire, destinée aux enfants du peuple. Les écoles répondaient surtout aux besoins des enfants des classes ouvrières : hygiène, éducation, contrôle social, discipline...etc., alors que la fin de siècle voit croître l'intérêt des psychologues et des pédagogues pour la rénovation des méthodes d'enseignement.

Il faut dire que dès **le début du XX siècle**, se développa un vaste mouvement pour les méthodes actives et intuitives à rencontre des procédés mécaniques qui n'exercent que la mémoire. C'est le grand mouvement des écoles nouvelles et du constructivisme. Aux Etats-

Unis, John Dewey (1859-1952) philosophe, adepte des nouvelles pédagogies centrées sur l'enfant va influencer l'architecte Frank Lloyd Wright. En 1902, ce dernier construisit l'école Hillside à Spring Green (Wisconsin) qui devint un modèle d'avant garde maintes fois copié. Les classes sans estrade s'ouvrirent sur la nature où se déroulaient la plupart des leçons de sciences naturelles. On mit l'accent sur la liberté plutôt que sur la contrainte, l'expression des sentiments et de la créativité plutôt que le seul exercice intellectuel. La qualité de l'architecture scolaire devint une des préoccupations majeures des concepteurs (CHATELET et Le CŒUR, 2004).

D'autres écoles de ce type s'ouvrirent en Angleterre, aux Etats-Unis et en Allemagne. A Hambourg, l'école Walddörferschule (1928-1929) dite école de cité jardin devint un modèle. Une cour carrée intérieure servait de théâtre de plein air pour l'école et la communauté, les terrasses devant les salles de classe permettaient l'enseignement en plein air.

Après 1960, la croissance démographique impose des constructions scolaires nombreuses, légères, rapides et économiques. Se fut alors l'ère de l'architecture scolaire standardisée et industrialisée qui, quoi quelle répondait pleinement à l'ensemble de ces exigences, elle présentait l'inconvénient des limitations portant sur le choix de la forme et de l'aspect des bâtiments pour lesquels elle est employée.

Les nouvelles écoles contemporaines se caractérisent par le souci d'adapter l'architecture aux pédagogies et à l'usage des technologies de l'information et de la communication, elles sont attentives à l'écologie et au développement durable. On pense de plus en plus à résoudre les problèmes d'ergonomie des lieux de travail, réfléchir aux questions de la lumière, de l'acoustique, de la chaleur, de la sécurité, de la répartition des périphériques. Il faut aussi garantir la possibilité de redistribuer les espaces au gré de l'évolution des besoins. Les écoles d'aujourd'hui deviennent à usages multiples et sont ouvertes toute l'année. Ce sont des lieux de vie, de formation, de documentation et d'échange. La flexibilité et la souplesse d'utilisation sont devenues désormais un élément déterminant de l'architecture scolaire.

IV.2.3. L'ETABLISSEMENT SCOLAIRE ET SON ROLE DANS LA SOCIETE

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

le dictionnaire LAROUSSE, « l'établissement scolaire est l'ensemble des locaux où se donne un enseignement (école, collège ou lycée)».

Les établissements scolaires jouent un rôle crucial dans chaque localité. C'est évidemment là que les élèves apprennent et que les enseignants transmettent leur savoir, mais c'est aussi là que sont organisées des manifestations sociales, des représentations théâtrales et des événements sportifs. Ils représentent un indicateur du bien-être de la population locale.

Les bâtiments scolaires jouent aussi un rôle important en cas de catastrophe naturelle soit au moment même de la catastrophe soit dans la phase de reconstruction. Lorsqu'un cyclone ou une inondation est survenue, l'école peut servir d'abri d'urgence où la population locale sera hébergée, nourrie et prise en charge. Après un tremblement de terre, les écoles peuvent accueillir les personnes dont les logements ont été détruits ou endommagés.

IV.2.4. EVOLUTION SPATIALE DE L'ETABLISSEMENT SCOLAIRE

Depuis l'apparition de l'architecture scolaire, la conception des établissements éducatifs ne cesse d'évoluer pour mieux s'adapter aux nouvelles exigences d'une société en perpétuel développement social, culturel et technologique.

Dès le début du XXème siècle, certains pays industrialisés ouvrirent des écoles de plein air afin de créer une atmosphère stimulante, propice à la santé et aux apprentissages. Certaines de ces écoles sont demeurées célèbres comme celle de Richard NEUTRA à Los Angeles (1925). Celle de Jan DUIKER à Amsterdam (1930) et celle de E. BEAUDOUIN et M. LODS à Suresnes en île de France (1935). Ces constructions associaient l'air et la lumière afin de favoriser l'épanouissement physique et intellectuel des enfants (FORSTER, 2006).

Dans l'entre-deux-guerres, l'établissement scolaire devint sobre et fonctionnel. Deux mouvements cohabitaient à cette époque : celui des constructions en longues barres et celui des écoles pavillonnaires. Tony GARNIER (1869-1948) architecte Français, est considéré comme le père des écoles pavillonnaires. Il imagina la cité industrielle de demain avec de petites écoles dispersées dans la verdure. Les pavillons donnaient sur des cours de récréation séparées et des pelouses ombragées où l'on faisait la classe par beau temps. Les écoles pavillonnaires ou les écoles compartimentées avec ailes, portiques et cours ouvertes furent en vogue durant les années 1950. Les enfants fréquentaient des espaces différents selon leur âge. A cette époque, En Europe se développait le modèle prussien: classes regroupées autour d'un hall central utilisé pour les enseignements communs et les rassemblements. Les classes avaient des fenêtres qui donnaient sur cet espace afin de permettre une surveillance constante. Il fallait montrer l'importance de l'instruction et inspirer son respect (FORESTER, 2004).

En Suisse, Alfred Roth, grand spécialiste des constructions scolaires, publia plusieurs ouvrages sur l'architecture. Il recensa les meilleures réalisations des pays industrialisés. En 1933 il présenta un projet exemplaire d'une école à trois niveaux et à la lumière bilatérale et aération transversale. Pour supprimer les corridors des étages, il créa entre chaque paire de classes un hall avec une cage d'escalier. Cette solution permet de multiplier le nombre de classes suivant les besoins. Cette conception architecturale de l'école sans corridor permet également de diviser le nombre des élèves en groupes et de leur réserver des accès différents au préau.

En bon visionnaire, Alfred Roth énonça dans les années 1950 les conditions essentielles d'une bonne architecture scolaire:

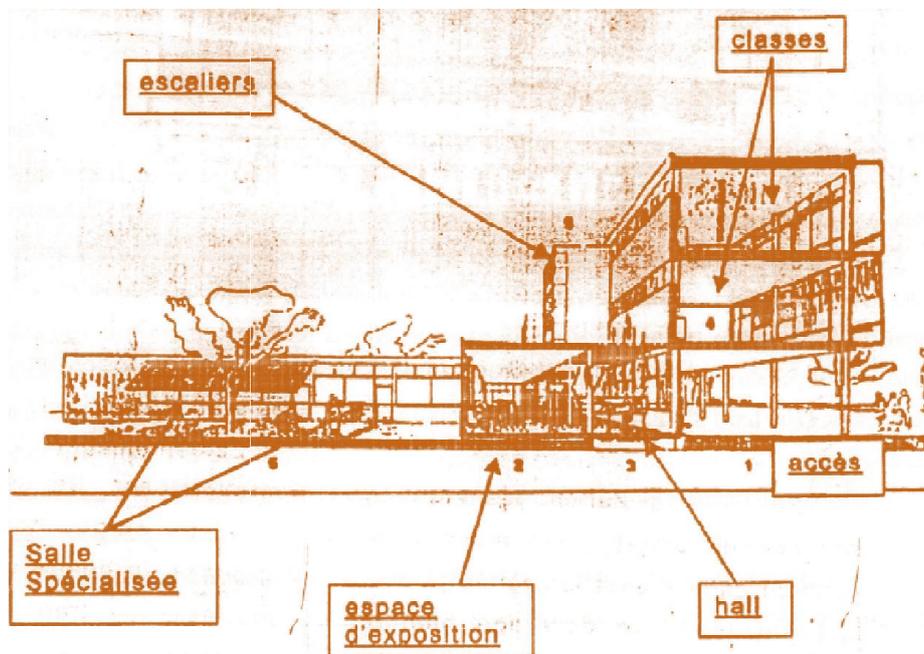


Figure. IV.1. Ecole primaire à Zurich en Suisse **Source** : ROTH Alfred (architecte concepteur)

- *L'enfant est le sujet et non l'objet de l'éducation et l'architecture doit être à son échelle, il faut donc éviter les bâtiments monumentaux.*
- *L'éducation doit développer l'être dans sa plénitude, l'architecture doit s'adapter à une grande variété de situations pédagogiques. Il faut donc une disposition souple et différenciées des locaux adaptés à chaque âge et à chaque type d'enseignement.*

- *Un bâtiment scolaire à simple rez-de-chaussée correspond parfaitement aux exigences de l'hygiène et de la pédagogie pour les enfants de 5 à 7 ans par l'intimité de son échelle et par une liaison harmonieuse entre classe et jardin.*
- *L'école doit être en harmonie avec la nature».*

Ces principes sont en partie repris dans la 20^{ème} conférence internationale de l'instruction publique (1957) : Planifier, standardiser, tout en s'adaptant aux pratiques éducatives et aux progrès techniques. Les bâtiments scolaires sont devenus des « groupes scolaires » formés de plusieurs unités. Les performances techniques relatives au chauffage, à l'éclairage artificiel et à la ventilation, libèrent la construction scolaire des contraintes du volume longitudinal.

A la fin des années 1960, un grand courant de réformes traversa les pays de l'OCDE : pédagogie différenciée, travail des enseignants en équipe, enfants dans des groupes d'âges différents, formation par cycles d'apprentissage etc. On entra alors dans la période des écoles à plans variables ou à aires ouvertes. L'Angleterre, les Etats-Unis, l'Australie et les pays du Nord de l'Europe furent les pionniers de ce nouveau style. Il fut de règle de prévoir dans les nouvelles constructions des volumes communs où les enfants d'âges divers pouvaient travailler. On produisit des écoles avec des séparations mobiles faciles à déplacer destinées à structurer les espaces pour les divers travaux de groupe. Un projet architectural suédois, appelé SAMSBAP, servit de modèle de référence.

La conception générale de ces nouveaux établissements se caractérisait par un espace de ressources au centre et des alvéoles pour le travail individuel ou en groupes tout autour. En Australie, où presque toutes les écoles construites dans les années 1970-1975 appliquaient les principes des aires ouvertes, des études révélèrent que les écoles ouvertes obtenaient, dans les tests nationaux de connaissances de base, des scores inférieurs aux écoles traditionnelles. Aux Etats-Unis et en Angleterre, les recherches ne révélèrent aucune supériorité de l'un ou l'autre système

Dans la seconde moitié du XX^{ème} siècle, beaucoup de pays de par le monde ont dû faire face à la nécessité de construire massivement de nouvelles écoles ou d'ajouter des espaces éducatifs à celles existantes pour répondre à l'accroissement mondial de la demande de l'éducation, et à la demande de bâtiments scolaires qui en découle. Le recours aux méthodes de constructions industrialisées semble être la solution la plus évidente. C'est ainsi que plusieurs systèmes de préfabrication rapide ont été conçus pour satisfaire ces besoins urgents. Le système FYNPLAN au Danemark, COIGNET et BALLOT en France, FEAL en

Italie, CROCS en Suisse, CLASP et METHOD au Royaume-Uni et SEF au Canada, sont des exemples qui étaient très répandus dans le domaine des constructions scolaires durant cette période (ODDIE, 1975).

Afin de mieux répondre aux exigences primordiales d'adaptation, de flexibilité et de simplicité dans la forme, deux types de configuration spatiale ont été développés : un système linéaire dont la largeur dépend du contenu) et autre compact (figure 2) avec la possibilité de combiner les deux types.

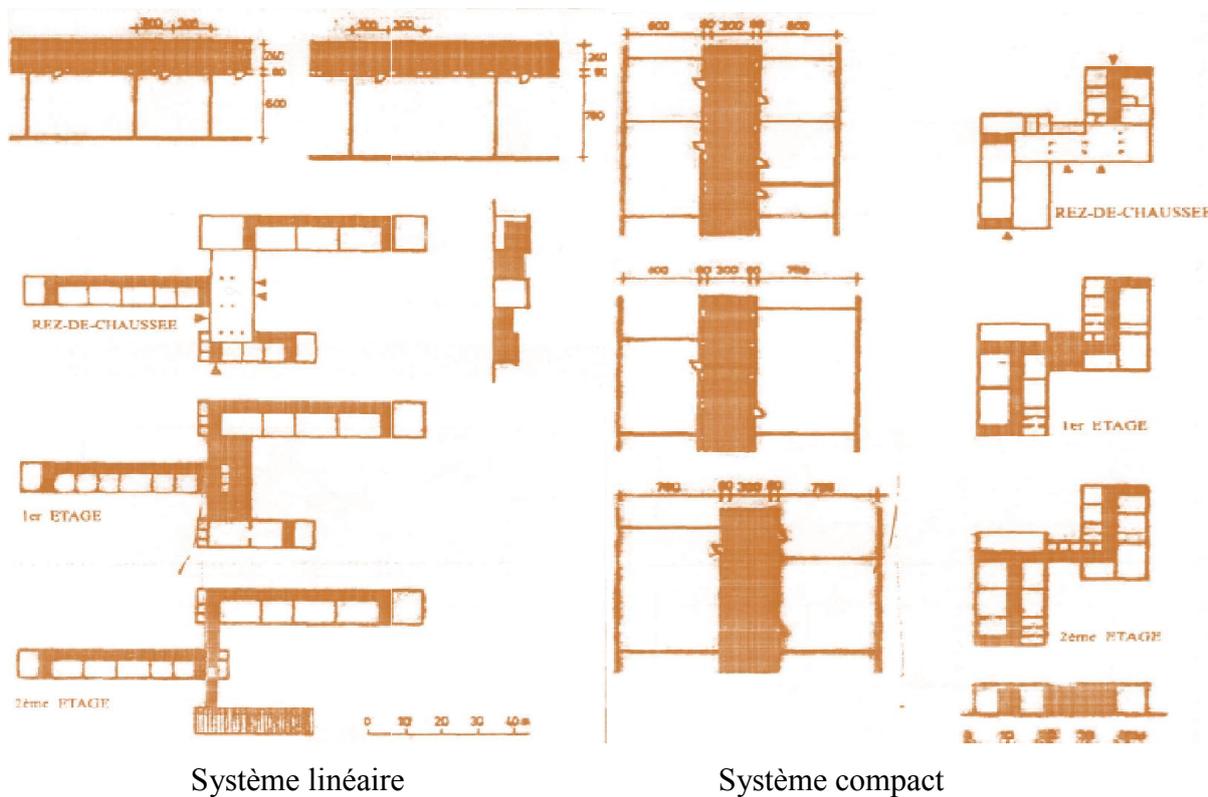


Figure. IV.2. Systèmes d'écoles industrialisées **Source :** VAN BOGAERT, (1998)

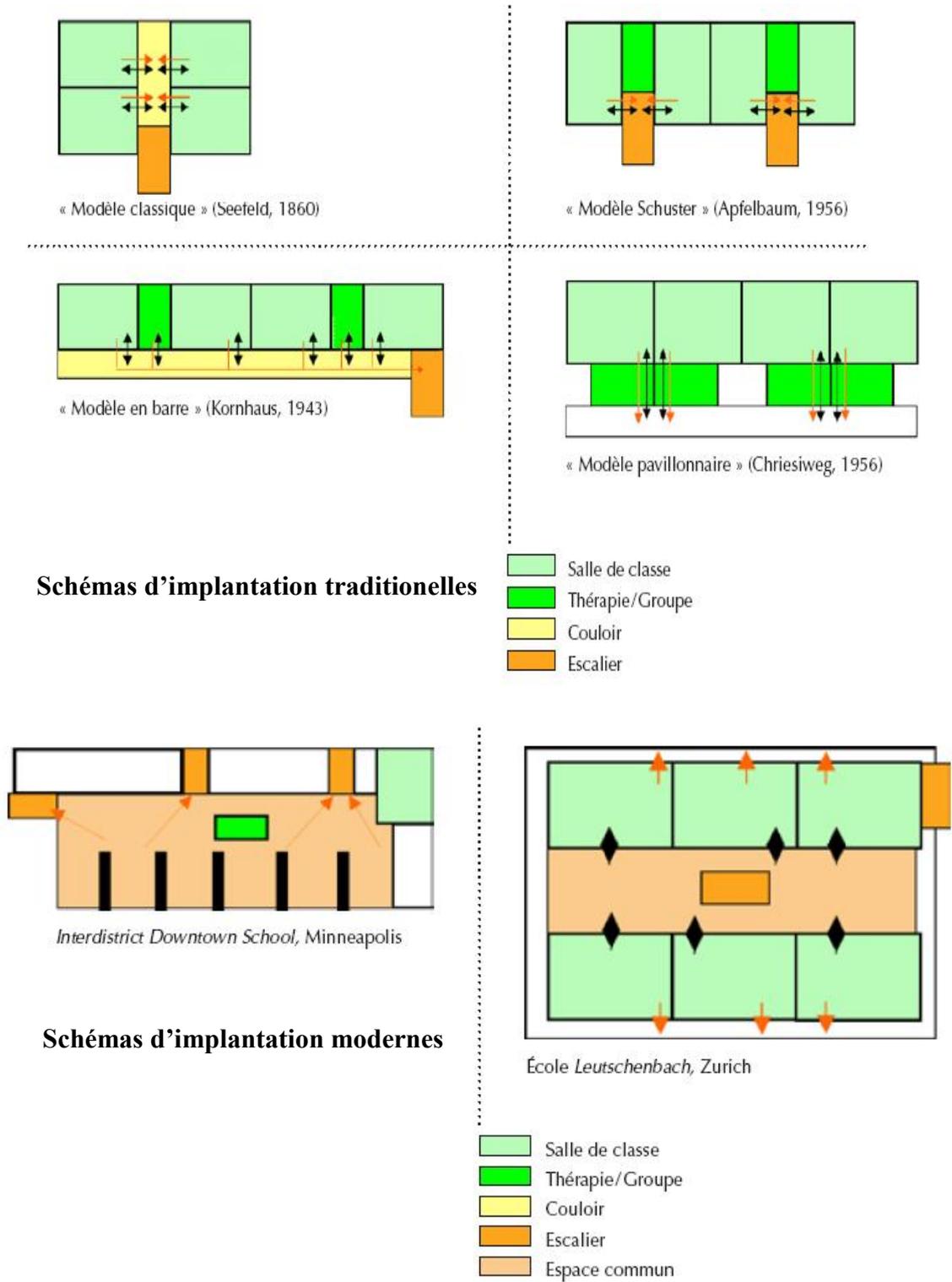


Figure. IV.3. Schémas d'implantation des écoles traditionnelles et modernes de Zurich (Suisse) **Source :** ZIEGLER Mark et KURZ Daniel

Aujourd'hui, on revient de plus en plus à l'idée de flexibilité mais dans un autre contexte. Le monde a changé; les nouvelles technologies commencent à bouleverser les manières d'apprendre et d'enseigner. On parle de plus en plus d'espaces modulables pour le travail individuel ou de groupe tout en luttant contre l'uniformité des bâtiments scolaires dans le paysage, les collectivités locales souhaitent de plus en plus voir apparaître des éléments d'architecture diversifiés.

IV.3. HISTOIRE EDUCATIVE EN ALGERIE

IV.3.1. LA PERIODE PRECOLONIALE (AVANT 1830)

Bien que la première fonction des mosquées soit de permettre la pratique du culte, elles ont également assumé toutes sortes d'autres fonctions notamment dans la formation des enfants et des adultes.

C'est ainsi qu'avant 1830, les enseignements en Algérie étaient dispensés au niveau des écoles coraniques dépendances des mosquées et dans les Zaouïas qui étaient bien fréquentées. La durée des études était de dix ans :

- Au premier niveau, l'élève était tenu d'apprendre une demi-douzaine de versets.
- Au deuxième niveau qui durait six à sept ans, les élèves pratiquaient la lecture du Coran, la récitation intégrale en arabe, la théologie et les commentaires, l'arithmétique, la géométrie, l'astronomie, la grammaire et les lettres (CHITOUR, 1999).

Dans beaucoup de pays musulmans, un certain nombre de mosquées ont cependant continué, encore pendant des siècles, à enseigner tant les sciences islamiques que les sciences profanes.

Il est à souligner que la très grande majorité des mosquées qui existaient dans les grandes villes d'Algérie, avant 1830, ont été construites sous la Régence Ottomane, durant cette période, l'enseignement en Algérie était organisé comme suit :

- ✓ L'enseignement primaire se déroulait dans les écoles coraniques.
- ✓ L'enseignement secondaire dans les zaouïas.
- ✓ L'enseignement supérieur au niveau des Médersas.

IV.3.2. L'EPOQUE COLONIALE (DE 1830 A 1962)

L'histoire de l'enseignement pendant l'ère coloniale est assez complexe, car elle concerne deux groupes de populations scolaires issus de deux peuplements différents. Toute

au long de la colonisation, la population autochtone a exprimé une forte opposition à l'école française publique, il y avait en Algérie à cette époque, deux systèmes éducatifs, l'un mis en place par l'Administration coloniale, l'autre par les Algériens eux même, pour lutter contre l'analphabétisme, la dilution ethnique et pour le ressourcement dans les valeurs de la religion.

1883 marque une date dans l'histoire de l'école coloniale en Algérie, c'est pour la première fois depuis la conquête Française, qu'on observe la mise en place d'un système d'enseignement institutionnalisé destiné aux Musulmans par l'élargissement à l'Algérie des lois scolaires dites lois Ferry. Au moment de la promulgation de ces lois, Jules Ferry, qui désirait en réalité l'assimilation des musulmans par l'école, tenta en vain de généraliser leur scolarisation.

Quelques années plus tard, la France finit par capituler et renonça à la scolarisation massive des Musulmans, mais créa pour eux les «écoles indigènes», avec un enseignement (sous-système) spécifique, un programme spécial, un instituteur spécial et un diplôme également spécial, cet enseignement fut essentiellement constitué par l'ensemble des filières moyennes (médersas, cours normaux d'instituteurs, certificats spéciaux pour indigènes) qui se sont développés en marge du système scolaire proprement dit.

C'est ainsi que l'enseignement B réservé aux indigènes et sanctionné par un certificat d'études primaires spécial n'a fusionné avec l'enseignement A, ouvert aux enfants Européens, qu'après la seconde guerre mondiale (CHITOUR, 1999).

L'une des tâches prioritaires de l'association des Oulémas créée en 1931, était la mise sur pied d'un véritable système éducatif parallèle à celui mis à la disposition des indigènes par l'administration Française. 260 Médersas libres furent créés entre 1931 et 1939 par cette association avec comme mission principale de contribuer à l'instruction des jeunes algériens restés en dehors de l'école publique Française.

Les textes juridiques de 1946 à 1949 chargés de relancer la scolarisation et d'unifier les enseignements pour indigènes et européens n'ont pas pu faire évoluer la situation. Au début de la lutte de libération nationale, il y avait à peine 10% d'élèves indigènes de la classe d'âge scolarisable qui était scolarisée, dans le même moment, plus de 97% des enfants européens étaient scolarisés.

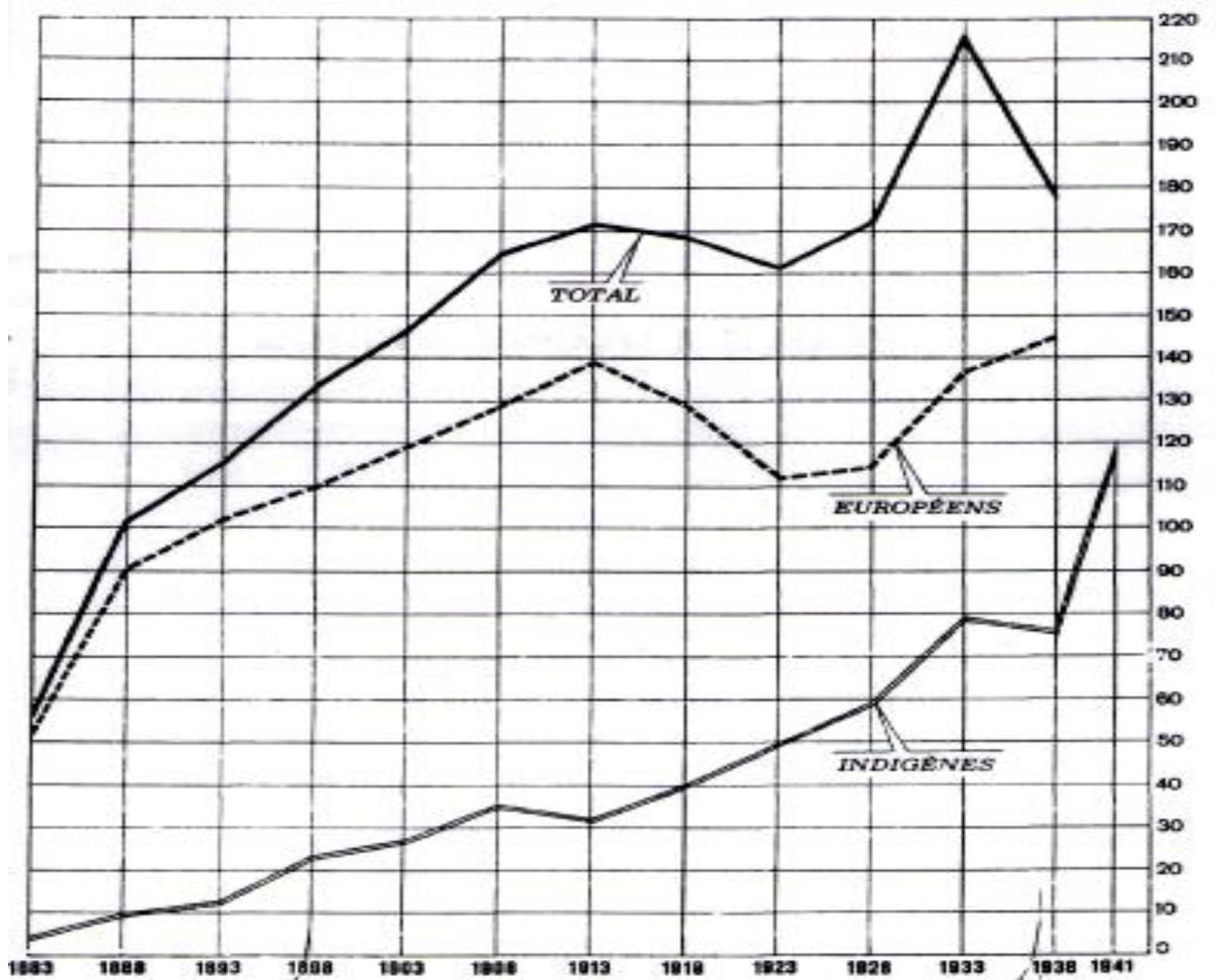


Figure. IV.4. Evolution comparée de la scolarisation dans le primaire des enfants musulmans et des enfants européens en Algérie entre 1888-1938 (en milliers d'élèves, garçons et filles).

Source: Annuaire statistique de l'Algérie. Ecoles publiques et privées, primaires et maternelles, 1888

L'étude de ces statistiques (figure IV.4) montre qu'en réalité, tout est dimensionné pour satisfaire en priorité, les enfants des Européens d'Algérie. Ainsi, les maternelles, les écoles primaires et les cours complémentaires édifiées surtout en villes, accueillait d'une façon obligatoire, les enfants des colons et accessoirement les enfants indigènes.

IV.3.3. LA PERIODE POSTCOLONIALE (DE 1962 A 2008)

- La première période (de 1962 à 1976)

Considérée comme une phase préparatoire, cette période devait garantir le démarrage de l'école algérienne. Car il fallait introduire progressivement des correctifs pour asseoir un système éducatif conforme aux grands axes de développement du pays ; parmi les priorités de cette période on retiendra :

La généralisation de l'enseignement par la création de structures scolaires et leur implantation jusque dans les zones déshéritées.

- ✓ L'algérianisation des cadres de l'éducation.
- ✓ L'adaptation des contenus hérités du système.
- ✓ L'arabisation progressive de l'enseignement.

Ces mesures se sont traduites par une augmentation :

- ✓ Du taux de scolarisation chez les enfants d'âge scolaire. Ce taux est passé de 20% lors de la première rentrée scolaire de l'indépendance à 70% à la fin de cette période.
- ✓ Du nombre d'établissements de formation des enseignants (44 Instituts Technologiques d'Education) avec une capacité d'accueil de 20 000 postes de formation de l'enseignement. Il existe actuellement 22 ITE opérationnels.

Ainsi, de 1966 à 1977, l'Algérie a prouvé son engagement en faveur de l'éducation en investissant massivement dans ce secteur. En 1970, la commission nationale de réforme de l'éducation a mis l'accent sur la démocratisation de l'éducation, ce qui a conduit à une expansion de la scolarisation dans le primaire : de 47,2 % en 1966, le TNS est passé à 83,0 % en 1998.

- **La deuxième période (de 1976 à 2008)**

Cette période a débuté par la promulgation de l'ordonnance 76-35 du 16 avril 1976 qui organise l'éducation et la formation en Algérie. Ce texte a introduit des modifications radicales dans l'organisation de l'enseignement, dans le sens des changements profonds intervenus dans les domaines économiques et sociaux ; il a consacré le caractère obligatoire et gratuit de l'enseignement fondamental pour une durée de 9 ans, et a permis d'asseoir les choix et orientations fondamentaux de l'éducation nationale au plan des aspects suivants :

- ✓ Un système éducatif national et authentique dans ses contenus, son encadrement et ses programmes.
- ✓ La démocratisation de l'enseignement par l'égalité des chances offertes à tous les enfants algériens.
- ✓ L'ouverture sur les sciences et la technologie.

L'ordonnance précitée contient également :

- ✓ Des objectifs nationaux caractérisés par le développement de la personnalité de l'enfant et du citoyen et leur préparation au travail et à la vie par l'acquisition de connaissances générales dans les domaines scientifiques et technologiques leur permettant de répondre aux aspirations populaires de justice, de progrès et du droit du citoyen algérien à l'éducation et à la formation.

- ✓ Des objectifs internationaux concrétisés par une éducation qui contribue à la compréhension et à la coopération entre les peuples, à la préservation de la paix dans le monde sur la base du respect de la souveraineté des nations, à inculquer les principes de justice et d'équité entre les citoyens et les peuples en les préparant à combattre toute forme de ségrégation et d'injustice et à une éducation en harmonie avec les droits de l'homme et ses libertés fondamentales.

D'après cette ordonnance, l'enseignement se trouve structuré selon les étapes suivantes :

- ✓ L'enseignement préparatoire non obligatoire.
- ✓ L'enseignement fondamental, obligatoire et gratuit d'une durée de 9 ans.
- ✓ L'enseignement secondaire général.
- ✓ L'enseignement technique.

L'application des dispositions/de cette ordonnance a débuté à partir de l'année scolaire 1980-1981. Il est resté jusqu'à 2008, la seule référence à tout projet d'amélioration ou de modification de l'organisation de l'enseignement.

- **La troisième période (à partir de 2008)**

L'entrée en vigueur de la nouvelle loi d'orientation sur l'éducation nationale, qui coïncide avec la dernière année des réformes engagées depuis 2003, trace la nouvelle stratégie pour le futur du système éducatif qui se résume en :

- ✓ Suppression de l'école fondamentale et retour à l'ancien système d'organisation (primaire, moyen, secondaire) ;
- ✓ Généralisation du cycle préparatoire dont le taux actuel des enfants inscrits en préscolaire ne dépasse pas les 25%, avec une éventuelle obligation de cet enseignement ;
- ✓ Promouvoir la langue tamazight et étendre son enseignement ;
- ✓ Intégrer les nouvelles technologies de l'information et de la communication dans l'environnement de l'élève dès les premières années de scolarité ; S Possibilité de création d'établissements d'éducation et d'enseignement privés ;
- ✓ Obligation de la levée de l'emblème national, dans tous les établissements scolaires, publics et privés, accompagnée de l'hymne national ;
- ✓ Institutionnalisation et la réglementation de l'enseignement privé ;
- ✓ Suppression de l'enseignement technique du cycle du secondaire.

IV.3.4. EVOLUTION ET PERSPECTIVES DE DEVELOPPEMENT DU SYSTEME EDUCATIF ALGERIEN

Au lendemain de l'indépendance, l'Algérie s'est retrouvée héritière d'un système éducatif colonial défaillant sur tout les points et en adéquation avec les aspirations et les spécificités socioculturelles qui caractérise l'identité arabo-musulmane de la société Algérienne.

Pour faire face au dysfonctionnement de ce système éducatif laissé par le colonialisme, et répondre favorablement aux besoins croissants de la population, tout en visant à améliorer l'accès, l'équité, la qualité, et l'efficacité du système éducatif, plusieurs réformes ont été mises en œuvre par les pouvoirs publiques dont les plus importantes sont celles issues des deux reformes 1976 et 2008.

La première réforme di système éducatif Algérien à été entreprise en 1976 avec l'adoption de l'école fondamentale polytechnique, elle s'inscrit dans une optique tendant à restructurer le système scolaire dans sa globalité sur le plan organique et formel tout en tenant compte de l'environnement socioéconomique et culturel du pays. Dans le cadre de cette réforme et depuis 1980 jusqu'à 2004, l'architecture de l'enseignement en Algérie se présentait comme suit :

- ✓ Un enseignement préscolaire non obligatoire.
- ✓ Un enseignement fondamental obligatoire réparti en 3 cycles et accueille les élèves de 6 à 15/16 ans et sanctionné par le Brevet d'Enseignement Fondamental.
- ✓ Un enseignement secondaire général, technologique et technique organisé en 15 filières et sanctionné par le baccalauréat.

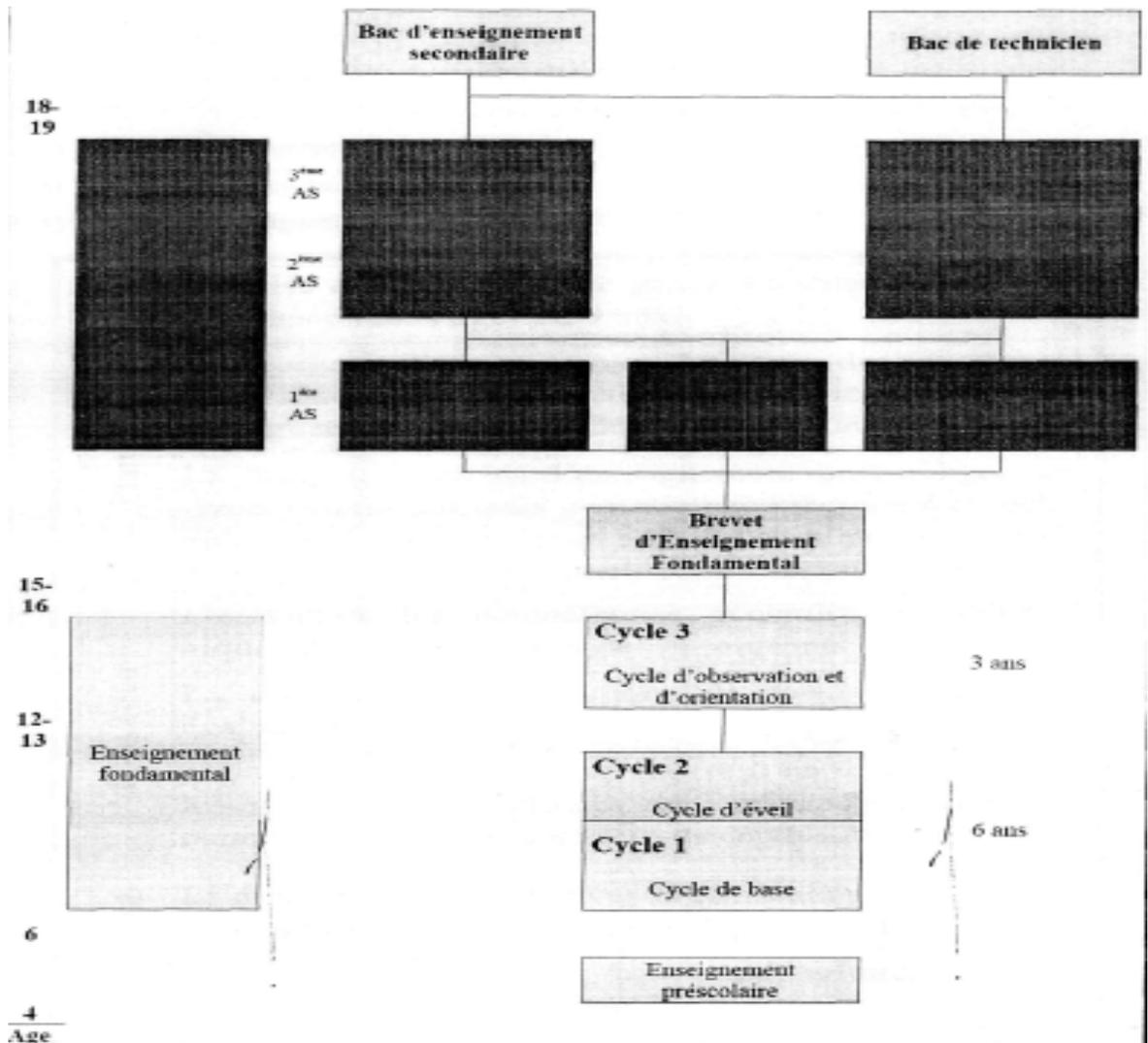


Figure. IV.5. Schéma de l'organisation scolaire en Algérie de 1980 à 2004 **Source :** Direction de l'Education

La nécessité d'accroître la qualité, l'efficacité et la rentabilité du système éducatif national, a poussé le gouvernement Algérien à adopter en avril 2002 une nouvelle réforme ambitieuse du système éducatif. Cette réforme se fixe quatre objectifs fondamentaux :

- 1) Améliorer la qualité de l'enseignement, notamment pour l'instruction des langues ;
- 2) Rénover les programmes scolaires ;
- 3) Réorganiser les cycles d'enseignement ;
- 4) Renforcer l'enseignement supérieur.

planification	La mise en chantier d'une année d'accueil préscolaire pour les enfants âgés de 5 ans.
	La réorganisation en termes de durée de l'enseignement fondamental : primaire de 5 ans au lieu de 6 et enseignement moyen (collège) de 4 ans au lieu de 3.
	La réorganisation de l'enseignement post-obligatoire (lycée) en trois filières : enseignement général et technologique, enseignement technique et professionnel, enseignement professionnel.
formation	L'élévation des compétences générales et pédagogiques des inspecteurs et des enseignants.
	La coordination des actions de formation et leur évaluation.
	L'élaboration et la mise en œuvre d'un dispositif pour les nouvelles technologies de l'information et de la communication (TIC) au sein des établissements.
Contenus et méthodes	La mise en œuvre de nouveaux curricula pour les différents niveaux d'enseignements dépendant du MEN
	L'élaboration des supports pédagogiques correspondants et leur évaluation.
	La prise en compte de nouvelles approches pédagogiques pour les curricula, les manuels, les évaluations des élèves et des manuels, notamment l'introduction de «d'approche par compétences».

Tableau : les principaux axes de la réforme du système éducatif algérien 2002. Source ministère de l'éducation national 2006

IV.4. LES PARAMETRES QUALITATIFS ENVIRONNEMENTAUX DES ETABLISSEMENTS SCOLAIRES

L'architecture scolaire environnementale consiste en l'intégration de l'ensemble des paramètres environnementaux techniques, qu'ils soient climatiques, sanitaires, énergétiques, ou qu'ils concernent les confort, l'entretien, les aspects architecturaux et socioéconomiques, durant les différentes phases du processus global de conception et de réalisation des bâtiments éducatifs. Le lien entre environnement et apprentissage le plus évident et le plus reconnu, dans le domaine de l'éducation, est le besoin d'un confort minimal pour pouvoir se concentrer sur les études. Dans les établissements scolaires, le confort environnemental a un impact direct sur les performances intellectuelles et le comportement des élèves.

Niveau Secondaire	Mètres carrés : 1440	Espace Groupe x 50 – Histoire						
Critères environnementaux								
Critères atmosphériques		Souhaitable	Tolérance	Remarques				
Température	température > 32 C°	24° - 26°	± 1°					
	extérieure < -18 C°	22° - 24°	± 1°					
Humidité relative	température > 32 C°	45% - 55%	± 5%					
	extérieure < -18 C°	25% - 30%	± 5%					
Air extérieur	m³/min./m²	0,2 to 0,8	>0,15					
	m³/min./pers.	0,42 - 0,85	>0,23					
Renouvellements d'air	par heure	6-8	>5					
Mouvements d'air	rapidité/mètre/min.	7,6-12,2	±3					
Pression de l'air dans la pièce	pascal	3,4x10² Pa	>1,7x10² Pa					
Efficacité du filtrage de l'air	> 5µ	80%	-					
	< 4µ	45% - 80%	-					
Odeurs	corporelles, chimiques							
Nombre d'occupants				max: 50 min				
Accumulation de chaleur	origine :	watts:	calories/heure					
	lumière équipement audiovisuel	0,2-0,4/m²	Variable					
Critères visuels								
Indice de performance visuelle	63		Lux : ne s'applique pas					
Vue vers extérieur/intérieur:	facultatif		Fermetures: oui	Intimité: non				
Lumière du jour:	facultatif		modulable: oui					
Critères acoustiques								
Niveau de bruit résiduel:	NC 35 max							
Durée de réverbération* (en secondes)	Fréquence: htz	125	250	500	1000	2000	cf. notes	
		max						Ne s'applique pas
		min						Ne s'applique pas
Niveau de bruit généré (dB, base: 2.10⁴ dynes/cm²)	Fréquence: htz	81,6	126	500	2000	8000		
		niveau de conception						58 77 89 75 60
Services								
Tuyauterie								
Eau froide: non	Eau chaude: non	Vapeur: non	Gaz: non					
Air comprimé: non	Tuyaux d'évacuation: non		Tuyaux d'échappement: non					
Autres:								
Electricité et électronique								
Haut-parleurs: oui	Interphone: oui	Récepteur: oui	Ligne de tel.: non					
Programmation: oui	Horloge électronique: oui		Prises câble TV: oui					
Prise ordinateur: non	Canalisations sous plancher: non							
Puissance 120V - 1 prise équip. audiovisuel et nettoyage								
Autres:								
Notes								
Prendre en compte le champ inducteur en boucle								
* Un traitement acoustique plancher-plafond est recommandé: le calcul de la durée de réverbération ne s'applique donc pas.								

Source : Etude des locaux éducatifs. Métropolitain Toronto school Board. 1970.

C'est pour cette raison que la santé et le bien être des utilisateurs d'équipements scolaires, sont les principaux objectifs de la qualité environnementale. En effet, un bâtiment

est, avant tout, destiné pour ceux qui y travaillent ou y étudient, sa qualité environnementale ne dépend pas uniquement des conditions thermiques, visuelles et acoustiques. Il y a d'autres paramètres qui entrent en ligne de compte tels que :

- ✓ Volume de l'espace, proportions spatiales formes des limites ;
- ✓ Aménagements intérieurs, mobilier ;
- ✓ Hygiène, gestion des déchets ;
- ✓ Densité d'occupation de l'espace ;
- ✓ Matériaux et techniques de construction utilisées ;
- ✓ Disposition des espaces, fonctionnement ;

Mesures de sécurité, protection contre toute source de danger.

IV.5. RELATION ENTRE ARCHITECTURE SCOLAIRE ET L'EFFICACITE EDUCATIVE

L'établissement scolaire incarne l'unité de base de production d'un système éducatif, il doit être conçu comme un vecteur de bien-être, un lieu d'identification, car il abrite des enfants qui y font l'apprentissage de leur vie de citoyens. La qualité de son architecture est déterminante pour la qualité de la vie scolaire qui s'y déroule. Son aménagement et son environnement ont un impact direct sur les progrès scolaires. Il est donc important que ces bâtiments soient exemplaires du point de vue de l'utilisation des ressources fossiles, des rejets polluants, de la qualité des matériaux, sans oublier la qualité de vie et le niveau de confort.

Nous partageons l'idée que l'architecture joue un rôle dans l'efficacité éducative par l'assurance d'un confort visuel, acoustique, thermique qui n'échappe pas la concentration de l'élève au cours de l'apprentissage.

La phase de conception d'un établissement scolaire est prépondérante, elle consiste, suite à des études architecturales et techniques intégrant les recommandations déjà formulées dans le programme par le maître de l'ouvrage, en la présentation d'un projet détaillé sous forme de documents graphiques et écrits. Bien qu'il existe plusieurs façons d'architecturer un projet, l'essentiel et le plus important aujourd'hui est de concevoir des établissements scolaires respectueux de l'environnement, offrant le maximum de confort aux futurs utilisateurs tout en préservant les ressources naturelles non renouvelables, il est aussi important de prévoir des espaces éducatifs susceptibles d'être adaptés à de nouveaux usages éventuels imposés par la modernisation de l'enseignement. ,

« Comme règle générale, la conception de l'école devrait pouvoir fournir un environnement éducatif approprié pour apprendre. Ainsi le rapport des différents éléments de l'école devrait être clairement défini. La conception d'école est la conséquence de l'organisation de ces éléments sur un emplacement donné selon le type du rapport entre les différents éléments. Un bon environnement éducatif peut être obtenu par une bonne organisation organique de l'espace (AÏCHE, 1987).

En effet, la qualité environnementale offerte par un bâtiment scolaire résulte en premier lieu de sa conception architecturale. L'architecte qui laisse à l'ingénieur ou au technicien spécialiste en chauffage, ventilation, climatisation, éclairage, ou acoustique, le soin d'assurer la qualité de l'environnement intérieur, perd le contrôle de l'intégration, et prend le risque que son œuvre soit dénaturée par les contraintes techniques.

Il est parfaitement possible d'assurer à la fois une bonne qualité architecturale, une excellente qualité de l'environnement intérieur et une très faible consommation d'énergie au moyen d'une conception intelligente et multidisciplinaire dont les principaux éléments conceptuels sont :

- L'organisation spatiale ;
- L'insertion du projet dans son environnement ;
- Le choix du parti architectural ;
- L'orientation des constructions ;
- La flexibilité des espaces.

Pour assuré un bon lieu de travail pour les enseignants et un bon lieu d'apprentissages aux élèves. Un établissement scolaire doit assurer les confort, visuelle et acoustique.

IV.5.1. CONFORT VISUELLE

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

En effet, la lumière naturelle est le mode d'éclairage le plus agréable, le plus performant et le plus économique. Dans l'approche environnementale des bâtiments scolaires, l'éclairage naturel est considéré comme un atout très important, non seulement par les économies d'énergie qu'il dégage en limitant la couverture des besoins par de l'éclairage électrique, mais aussi et surtout, par la qualité de la lumière, le rendu des couleurs et l'agrément des vues sur l'extérieur qu'il fournit.

Il est tout à fait admis que d'un mauvais éclairage peut résulter une fatigue, un manque d'attention d'où une perte d'efficacité. Me (SAFFIDINE, 2001), dans sa thèse de doctorat intitulée « *Le problème de l'enseillement dans les salles de classe des nouvelles écoles à Constantine* » est arrivé à la conclusion selon laquelle l'inconfort visuel résultant du soleil incident affecte le déroulement normal des activités scolaires, perturbe la concentration de l'apprenant et peut même inhiber sa tâche visuelle et lui causer des troubles visuels sérieux. Ainsi les résultats scolaires et le développement physique peuvent-être affectés de façon importante par le type de lumière utilisée dans les écoles.

C'est ainsi, que la reconnaissance d'effets bénéfiques de la lumière naturelle sur les rythmes biologiques et sur la vigilance à été confirmé par le psychologue (Hathaway, 1994) qui, tout en confortant et développant les recherches antérieures, précise que l'éclairage à spectre complet conduit à un apprentissage plus rapide, une meilleure santé et une croissance plus forte que les autres types de lumière communément utilisées. Il a pu découvrir dans ses recherches, que les notes s'amélioraient de 26% en lecture et de 20% en mathématiques dans les salles de classe éclairées par la lumière naturelle.

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

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

Les niveaux minimum (éclairagements moyens à maintenir)	
Classe à aménagement fixe	300 à 500 lux (au niveau du plan de travail)
Classe à aménagement variable	300 à 500 lux (au niveau du sol)
tableau	500 à 700 lux, (à 1,20 m de hauteur)
laboratoire	425 à 625 lux
Bibliothèque	250 à 500 lux
Salle de dessin	625 lux
Salle de réunion	300 750 lux
Couloir et escalier	100 à 200 lux
Sanitaire	150 à 300 lux

Tableau : les niveaux d'éclairagement recommandés dans les établissements scolaires

IV.5.2. LE CONFORT ACOUSTIQUE

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

Dans l'approche qualitative environnementale pour les établissements d'enseignement, il est indispensable de prendre en considération la sonorité du local dans lequel se trouve l'usager : une salle de classe doit être correctement isolée de la classe voisine, mais sa sonorité propre doit être telle que l'enseignant puisse se faire entendre de ses élèves sans forcer constamment la voix et les élèves doivent percevoir un message non brouillé par de multiples échos provoqués par une trop grande réverbération des parois.

Les résultats d'études récentes sur les effets physiologiques et psychologiques que peut entraîner une exposition de longue durée à un environnement bruyant, ont démontré que les nuisances sonores provoquent une baisse d'attention chez l'apprenant, accroissent la fatigue et peuvent conduire à un excès de nervosité, voire à des dépressions, d'où une réduction des performances intellectuelles et diminution de la productivité. Une perturbation dans la qualité de l'environnement sonore peut alors réduire l'efficacité de la tâche d'apprentissage.

Dans le domaine du bâtiment d'une façon générale, l'approche du confort acoustique est fortement marquée par l'approche réglementaire qui, même si elle ne néglige pas les autres aspects, privilégie les différentes exigences d'isolement acoustique (aux bruits aériens

intérieurs ou extérieurs, aux bruits d'impact ou aux bruits d'équipement (BORNAREL et al, (1999)).

Il est important de mentionner que les niveaux sonores, au maximum admis au voisinage immédiat d'établissement d'enseignement d'une façon générale est de 45 dB en période diurne (de 6 heure à 22 heure) et de 40 dB en période nocturne. Le niveau de 65 dB(A) (le jour) est souvent considéré comme seuil de gêne et de fatigue.

Pour répondre favorablement aux meilleures conditions de confort acoustique à l'intérieur des espaces d'enseignement l'architecte doit apporter toute son attention aux différentes nuisances dues aux bruis pouvant provenir :

- Des bruits aériens intérieurs ;
- Des bruits aériens extérieurs ;
- Des bruits d'impacts sur les parois ;
- Des bruits d'équipements.

Lorsque la source du son et le récepteur sont dans le même local, l'insonorisation se fait par correction acoustique (absorption du son). Lorsqu'ils sont dans deux locaux différents, elle se fait par isolation acoustique.

La prise en compte des contraintes du lieu, en amont de la conception, permettent de répondre favorablement aux attentes des usagers avec des solutions pragmatiques. Pour obtenir un confort acoustique de qualité, doit :

- Eloigner, au tant que possible, les établissements scolaires des sources de bruit comme les voies à grande circulation, les aéroports et les installations industrielles ;
- Etudier l'implantation, l'orientation et la configuration des bâtiments en fonction des sources de bruits repérées ;
- Prévoir éventuellement des écrans antibruit ;
- Renforcer l'isolation acoustique au niveau des murs et des planchers ;
- Utiliser des matériaux assurant une correction acoustique performante.

IV.6. LES COLLEGES D'ENSEIGNEMENT MOYEN (CEM)

Comme présenté précédemment, le système éducatif algériens est composé de trois cycles d'enseignement, le premier s'agit de l'enseignement en primaire déterminé par une durée d'étude de 5ans, le second s'agit de l'enseignement moyen (collège) déterminé par une durée d'étude de 4 ans, et enfin l'enseignement en poste obligatoire (lycée) déterminé par une

durée d'étude de 3 ans. Dans le cadre du travail présenté dans ma thèse, nous nous intéressons au cycle d'enseignement intermédiaire, c'est-à-dire à l'enseignement moyen est plus particulièrement à leurs conception architecturale.

IV.6.1. LE MOT « COLLEGE »

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

IV.6.2. PROGRAMMATION D'UN COLLEGE D'ENSEIGNEMENT MOYEN

Le collège d'enseignement moyen d'une capacité minimum de 600 collégiens pour un taux d'utilisation de 35 heures par semaine. Constituera l'unité pédagogique et architecturale de base. Il sera programmé et conçu pour être extensible à la capacité de 1000 collégiens en fonction de l'évolution des besoins. (A. Ben Mahmoud 1972)

IV.6.3. LES COMPOSANTES D'UN COLLEGE D'ENSEIGNEMENT MOYEN

- ✓ Des salles de classes.
- ✓ Une salle polyvalente.
- ✓ Des locaux administratifs.
- ✓ Une cantine ou restaurant scolaire.
- ✓ Des sanitaires.
- ✓ Des logements de fonction.
- ✓ Une aire de récréation. (ministère de l'éducation 1982)

IV.6.4. AGENCEMENT DES COMPOSANTES

Disposition générale : pour pallier certaines difficultés d'ordre technique, il convient de regrouper les locaux semblables par leurs dimensions et par leurs exigences d'éclairage, de ventilation et d'équipement. Toutefois ces regroupements doivent être conçus de manière à garantir une très bonne organisation des relations fonctionnelles.

On peut donc distinguer trois groupes fonctionnels : locaux d'enseignement, espace polyvalent, administration et deux annexes : les sanitaires et les logements de fonction. (Ministère de l'éducation 1982)

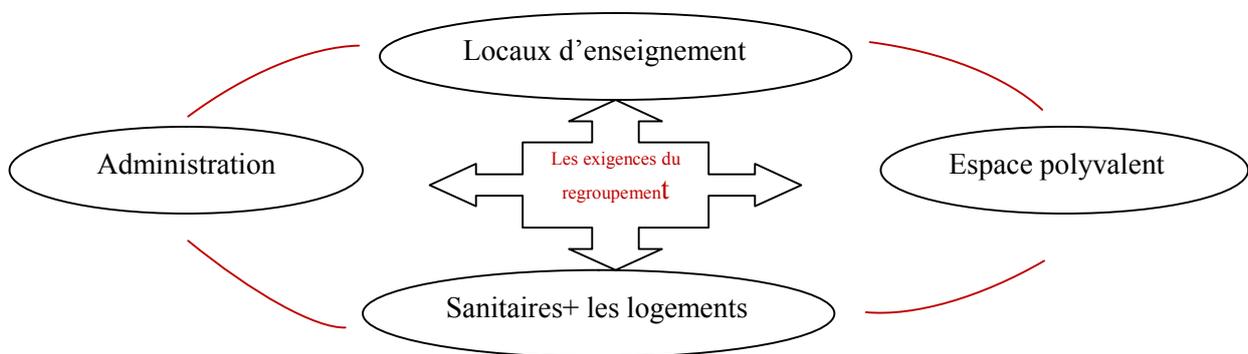


Figure IV.6. Schéma d'agencement des composantes

Salle de classe : (appelée Salle de cours dans les collèges et lycées) est une salle où l'on pratique l'enseignement dans une école. (www.wikipedia.org)

IV.6.5. CARACTERISTIQUES D'UNE SALLE DE CLASSE

a. Dimensions : -Surface utile nécessaire : 1.40 à 1.50 m²/élèves.

- Surface modulaire: 60 à 63m². La surface utile correspondante ne saurait toutefois descendre au dessous de 56m². Il doit être possible d'y placer rationnellement l'équipement mobilier nécessaire à 40 élèves et au maître.

-dimension horizontales recommandées :

*local rectangulaire : (8.4m×7.2m), ou (9m×6m).

*local carré : 7.8m×7.8m.

- hauteur sous plafond : la hauteur libre mesurée à partir du sol fini jusqu'au dessous de la saillie la plus apparente du niveau supérieur du local sera au moins de 3m et n'excédera, en aucun cas 3.5m.

b. Ouverture :

* la porte : chaque salle de classe aura une entrée indépendante, située de préférence du côté du tableau, la porte pleine, à un seul vantail (2m*0.9m) munie d'une plaque de propreté et s'ouvrant vers l'extérieur de la salle, en ne doit pas donner directement sur la rue.

* les fenêtres ou baies vitrées : afin de concilier les contraintes climatiques et les exigences d'éclairage, la surface vitrée variera, selon les régions de 10 à 15% de la surface du plancher. Toutes les fenêtres, doubles fenêtres et leurs impostes seront ouvrantes.

L'éclairage unilatéral ne peut pas être admis que si la classe ne dépasse pas 7.2m de profondeur.

L'éclairage bilatéral opposé et recommandé. il offre un meilleur éclairage de la place la plus sombre, une bonne répartition de la lumière et une ventilation transversale efficace.

En aucun cas, des baies ou fenêtres ne pourront être placées face aux élèves ou au enseignant.

La partie inférieure de la surface vitrée sera à 0.9m et à 1m au plus au dessus du niveau du plancher de la salle. Les systèmes de manœuvre des ouvrants seront situés à moins de 1.6m du sol.

Les grandes baies vitrées à éviter. (Ministère de l'éducation 1982)

IV.6.6. EQUIPEMENTS DE BASE D'UN CEM

Généralement, la salle est dotée :

- d'un *tableau noir* sur lequel on écrit à la *craie*, est fixé sur l'un des murs de la salle. Le tableau noir peut être remplacé par un *tableau blanc* ou un tableau papier sur lequel on écrit au *feutre* non indélébile et qui évite la production de la poussière de craie.
- de *tables* et de *chaises* sur lesquelles se placent les élèves, regard tourné vers le tableau. Autrefois, ces deux meubles étaient combinés en un seul appelé pupitre.

- d'un *bureau* et d'une chaise (très souvent donnée d'accoudoirs) pour l'enseignant placé face aux élèves.
- d'un ou de plusieurs meubles (*armoires, casiers, bibliothèque,...*) destinés au rangement du matériels et des fournitures.

Souvent, une *estrade* accolée au mur sur lequel est fixé le tableau, permettant ainsi de faciliter son usage et faisant pour l'essentiel la largeur de la pièce, accueille généralement le bureau de l'enseignant.



Figure IV.7. Une salle de classe à [Letterkenny](http://www.wikipedia.org) (www.wikipedia.org)

IV.6.7. ECLAIRAGE NATUREL DANS LES SALLES DE CLASSES

L'éclairage naturel est impératif dans tous les locaux. Pour les locaux pédagogiques en organisation frontale, la source d'éclairage naturel est latérale par rapport à l'axe de vision vers le tableau. Tous les locaux feront l'objet d'une protection solaire efficace fonctionnelle et robuste (Occultation des locaux et protection par rapport à l'ensoleillement).

- *Mieux répartir la lumière naturelle :*

Élèves surexposés côté fenêtres, élèves sous-exposés en fond de classe : l'homme est particulièrement adapté au spectre de la lumière naturelle et à ses cycles : une lumière gratuite à optimiser.

- *Demande d'équilibre :*

- Ci-dessous une visualisation en coupe de l'évolution typique des niveaux de lumière diffuse dans une salle de classe : à trois mètres de la façade l'ambiance devient intérieure, à sept mètres une compensation est demandée par les occupants.

- On note l'intérêt pour le mur qui fait face à la façade d'être clair au dessus des tables : jusqu'à +30% pour les niveaux lumineux les plus défavorisés, et rééquilibrage du champ visuel.

- On note l'intérêt de séparer les deux circuits d'éclairage artificiel en deux zones : l'une le long des fenêtres, l'autre pour le reste de la classe. Pour le climat de Lyon, les niveaux obtenus par l'addition de l'effet des luminaires de cette dernière zone et de la lumière naturelle permettent de ramener les occupants dans une zone de confort.

- On note l'opportunité d'utiliser les progrès techniques obtenus par les « tubes de lumière » permettant d'amener la lumière naturelle en fond de classe. Prescription minimale : 4 tubes de 35 cm de diamètre.

L'optique de sortie dite de « Fresnel » est la plus adaptée pour les salles de classe.

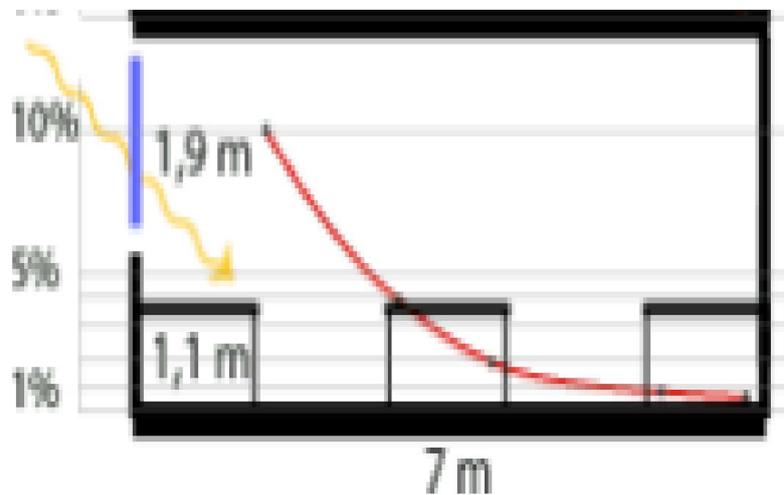


Figure.IV.8. L'évolution typique des niveaux de lumière diffuse dans une salle de classe

➤ Asservissement à la lumière naturelle :

Des gains énergétiques quant à l'éclairage artificiel présupposent des protections solaires capables de protéger du soleil, tout en laissant passer au mieux la lumière diffuse.

Les gains varient selon la météo locale, les masques extérieurs, l'orientation des baies, l'architecture, les véritables horaires, et les systèmes d'asservissement choisis.

- Luminaires près des fenêtres : gros potentiel d'économies d'énergie (jusqu'à 75%), quelque soit le niveau de lumière minimal fixé (300 à 500 lux).

Sont fortement conseillées ici les technologies d'asservissement permettant une gradation des sources jusqu'à 1% de leur flux, voire une coupure complète, plutôt qu'une gradation limitée à 50% du flux difficile à justifier par un temps de retour.

- Partie de la classe désavantagée en lumière naturelle : Dans les classes éclairées uniquement par une façade, les niveaux en fond de pièce sont faibles : de jour, les luminaires ne peuvent être dans le même état que ceux situés près des fenêtres.

Dans cette partie, en effet, le besoin d'allumage est quasiment nécessaire tout le temps : le comportement des occupants ne pourra être exploité pour des gains énergétiques.

En ce qui concerne un éventuel asservissement automatique, il faut retenir qu'ici les gains dépendent pour beaucoup du niveau de lumière minimal ciblé : jusqu'à 60% de gains pour un niveau de 300 lux, 25% pour 500 lux : d'où l'importance du réglage en fin de chantier des valeurs cibles des cellules.

- Salles bénéficiant d'un éclairage naturel bilatéral efficace : la zone précédente se trouve alors dans la possibilité d'exploiter cette lumière naturelle (jusqu'à 68% de gains) : De même que pour la zone près des fenêtres, sont conseillées les technologies d'asservissement permettant une gradation des sources jusqu'à 1% de leur flux, voire une coupure complète. Par contre, l'éclairage ciblé est ici un paramètre important qui distingue ce cas vis à vis du précédent : 50% de gains pour 500 lux, 68% pour 300 lux.

IV.7. Conclusion

Il est universellement admis aujourd'hui que l'amélioration du rendement de tout système éducatif, passe par une prise en charge sérieuse, concrète et vigoureuse de tous les facteurs endogènes et exogènes susceptibles d'avoir un lien de causalité direct ou indirect avec l'inefficacité du processus éducatif dans sa globalité. Dans ce cadre, les conditions de vie et de scolarisation dans les établissements scolaires constituent un élément déterminant de la réussite scolaire de toute stratégie d'apprentissage. Si elles sont de bonne qualité, elles peuvent contribuer à l'amélioration des résultats scolaires et à l'efficacité des politiques éducatives en général. Autrement, le processus éducatif peut être compromis si les espaces qui lui sont consacrés, sont mal conçus et mal entretenus.

Les différentes études et autres analyses que nous avons développées dans ce chapitre, font apparaître la pertinence des paramètres environnementaux dans la conception architecturale moderne des établissements scolaires, elles nous permettent également de tirer les observations et les conclusions suivantes :

La majorité des systèmes éducatifs de par le monde, y compris celui de l'Algérie, sont en train d'être revus, corrigés et reformés, pour mieux s'adapter aux nouveaux défis et autres contextes scientifiques, technologiques, économiques et socioculturels qui caractérisent le monde contemporain.

L'architecture des établissements scolaires est en perpétuelle évolution. Les nouvelles recherches en la matière, visent à concevoir des infrastructures éducatives beaucoup plus confortables, saines et souples, facilement adaptable aux nouvelles exigences et méthodes pédagogiques d'enseignement.

L'état des bâtiments scolaires et leur capacité de satisfaire les nouvelles exigences en matière d'enseignement suscitent une vigilance accrue dans les pays du monde. Il est tout à fait admis aujourd'hui que l'établissement scolaire est considéré comme une construction affective qui joue un rôle important dans la vie des élèves qui le fréquentent. On apprend mieux et on se comporte mieux dans des établissements bien conçus et bien entretenus. Plusieurs études ont démontré l'incidence de la qualité de l'architecture scolaire sur le comportement et le rendement des élèves. En effet, il existe une relation très étroite entre la qualité et l'entretien des lieux d'enseignement (propreté, confort : visuelle et acoustique) et les résultats scolaires des apprenants, d'où l'importance capitale accordée à la qualité environnementale des établissements scolaires dans la plus part des pays du monde à travers la mise en place des programmes de réformes visant à améliorer le rendement et l'efficacité des systèmes éducatifs.

CHAPITRE VI

ETUDE PAR SIMULATION DES PERFORMANCES ENERGETIQUES DES CEM

INTRODUCTION

Dans ce chapitre nous présentons les résultats des simulations obtenus par le logiciel ECOTECT, dans le but est de faire une évaluation des performances énergétiques des quatre types de CEM proposés dans le cadre de notre travail. Ces performances concernent : le coefficient d'ombrage, l'ensoleillement, l'évolution temporelle de la température au sein des salles de classe et enfin le facteur de lumière du Jour (FLJ). Le but principal de cette recherche est d'étudier l'état actuel de l'ensemble de CEM de la ville de Biskra du point de vue énergétique. Ainsi, la détermination du type de CEM le plus performant énergétiquement et qui offre les meilleures conditions du confort selon les conditions climatiques de la ville de Biskra

VI.1. DEMARCHE DE L'ETUDE

La forme optimale d'une construction dépend de plusieurs paramètres, principalement : les paramètres climatiques, l'emplacement et les paramètres qui concernent la conception architecturale tels que : la géométrie et les éléments accompagnant cette géométrie (exemple : les auvents et les ouvertures, etc.....).

Dans le but de mener une étude comparative entre les typologies des CEM proposés dans le cadre de notre étude et de déduire la forme optimale dans le contexte d'un climat chaud et sec (la ville de Biskra), l'analyse prévoit l'étude de l'influence des paramètres suivants :

➤ GEOMETRIE

Les CEM étudiés ont été classés en quatre types. Le critère principal de cette classification est basé sur la manière dont les salles sont regroupées. Cette classification est présentée comme suite :

Type I (mono-rangée) : dans ce type, les salles de classe ayant un corridor en commun, sont regroupées dans un seul bloc, de manière à former une mono-rangée, ce type de CEM est présenté dans la figure ci-dessous :

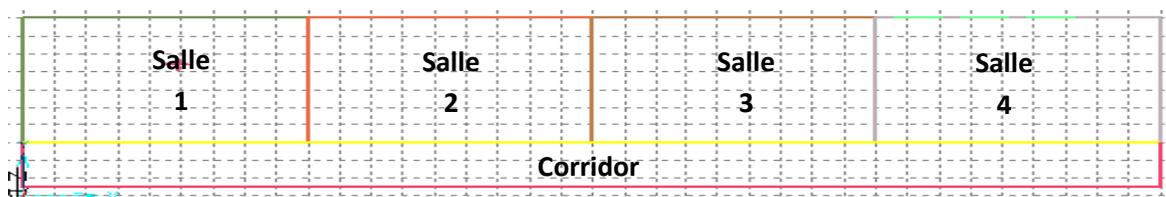


Figure.VI.1. Le regroupement des salles de classe dans les CEM de type I.

Type II (double rangées avec cour) : dans ce type de CEM, les salles sont regroupées en double rangées séparées par une cour, chaque groupe de salles est muni d'un corridor en commun. Dans la première rangée, les salles sont regroupées dans un seul bloc décalé. Ce type est présenté dans la figure ci-dessous :

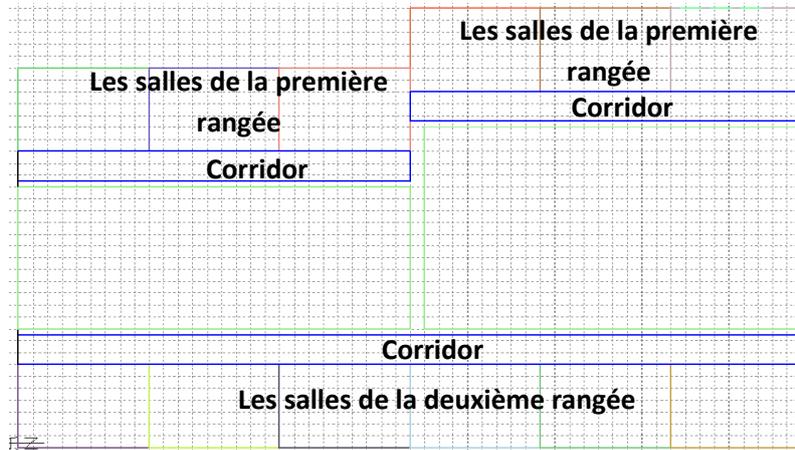


Figure.VI.2. Le regroupement des salles dans les CEM de type II.

Type III (mono-rangée décalé) : dans ce type, les salles muni d'un corridor en commun, sont regroupées dans un seul bloc (regroupement mono-rangée) et décalées les une par rapport aux autres. Ce type est présenté dans la figure VI.3.

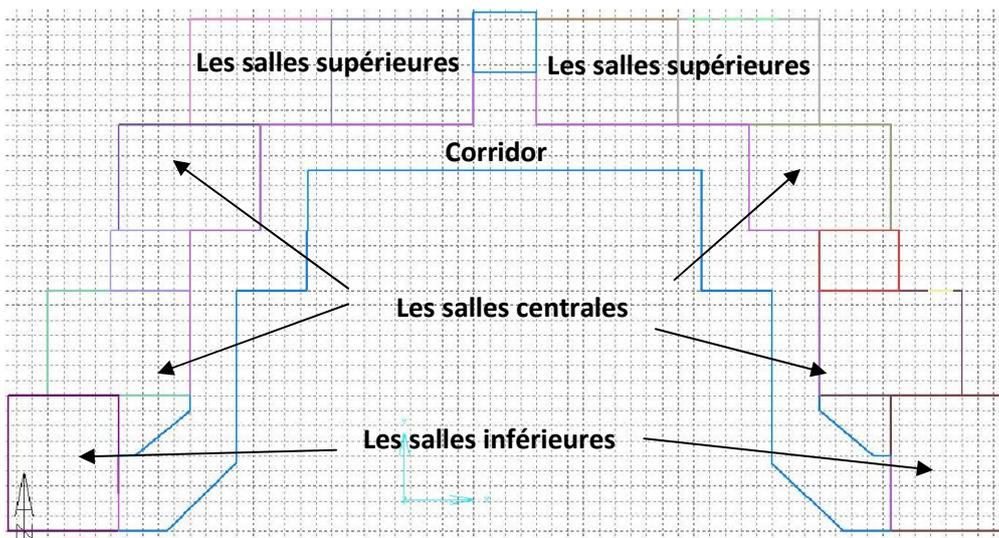


Figure.VI.3. Le regroupement des salles dans le type III.

Type IV (double rangées avec couloir) : dans ce dernier type, les salles sont regroupées dans deux blocs séparés par un couloir. Les deux blocs ayant le même nombre de salle sont réalisés d'une manière symétrique comme présenté dans la figure ci-dessous (Figure VI.4) :

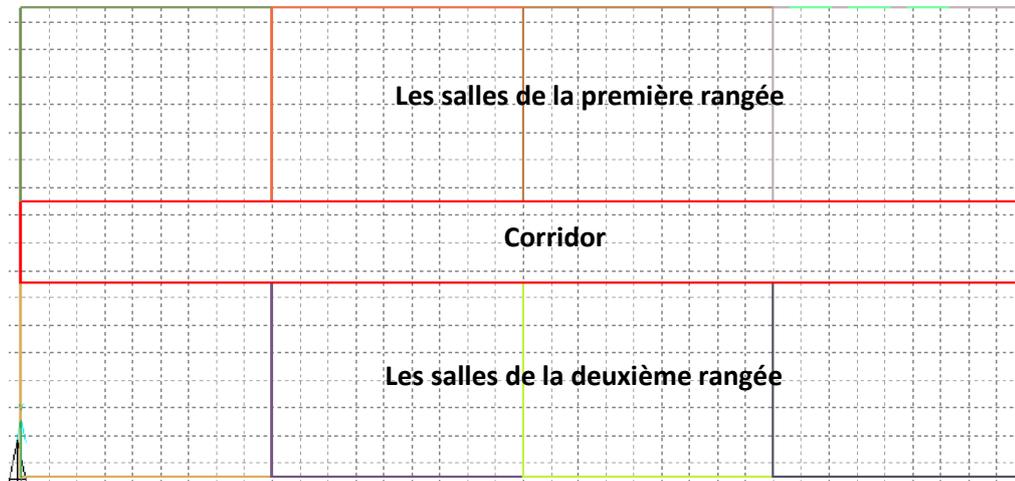


Figure.VI.4. Le regroupement des salles dans le type IV.

Dans les simulations qui vont être présentées ci-dessous, on suppose que tous les modèles ont les mêmes matériaux de construction. Ces matériaux sont couramment utilisés dans le contexte de l'étude. Les murs en double briques avec l'âme d'air, enduits de plâtre à l'intérieur et de mortier de ciment à l'extérieur, le toit en corps creux enduit de plâtre à l'intérieur et le plancher sol en dalle pleine.

Pour chaque type de CEM, le nombre des salles de classe sera désigné selon le nombre majoritaire des salles trouvées dans l'analyse des CEM existants dans la ville de Biskra (30 CEM ont été analysés). Par exemple, pour le type I, le nombre de salle de classe est fixé à quatre. Ce nombre, présente le nombre majoritaire des salles des classes dans ce type de CEM.

Concernant la surface des murs (S_m), selon les trente CEM analysés, cette surface est presque constante (pour les murs portant les fenêtres, cette surface est égale à $9 \times 3.5 \text{ m}^2$, pour les murs latéraux, la surface est de l'ordre de $7 \times 3.5 \text{ m}^2$).

Dans chaque type de CEM étudié, le nombre de fenêtre dans chaque salle est fixé aussi, à partir du nombre majoritaire des fenêtres trouvées dans les CEM analysés. L'aire de ces fenêtres (L_f) est définie par :

$$L_{f_m}(\%) = \sum(S_f/S_m) \times 100 / n_s$$

$$Lf = Lf_m(\%) \times S_m / 100$$

Tels que :

$Lf_m(\%)$: est l'aire moyen des fenêtres en pourcent,

$S_f [m^2]$: est la surface des fenêtres de chaque salle dans chaque CEM étudié,

$S_m [m^2]$: est la surface des murs portant les fenêtres

n_s : est le nombre total des salles de classe.

➤ ORIENTATION

Pour étudier l'influence de l'orientation des quatre types des CEM sur leurs performances énergétiques et thermiques tels que : le coefficient d'ombrage, l'ensoleillement, l'évolution temporelle de la température à l'intérieur des salles et enfin le facteur de lumière du jours (FLJ), les modèles suivants sont utilisés :

- **Pour le type I** (mono-rangée) : dans l'étude présentée, les quatre orientations (Nord, Sud, Est et Ouest) seront considérées. L'orientation de ce type est celle de la façade dotée de corridor, comme présenté dans les figures ci-dessous :

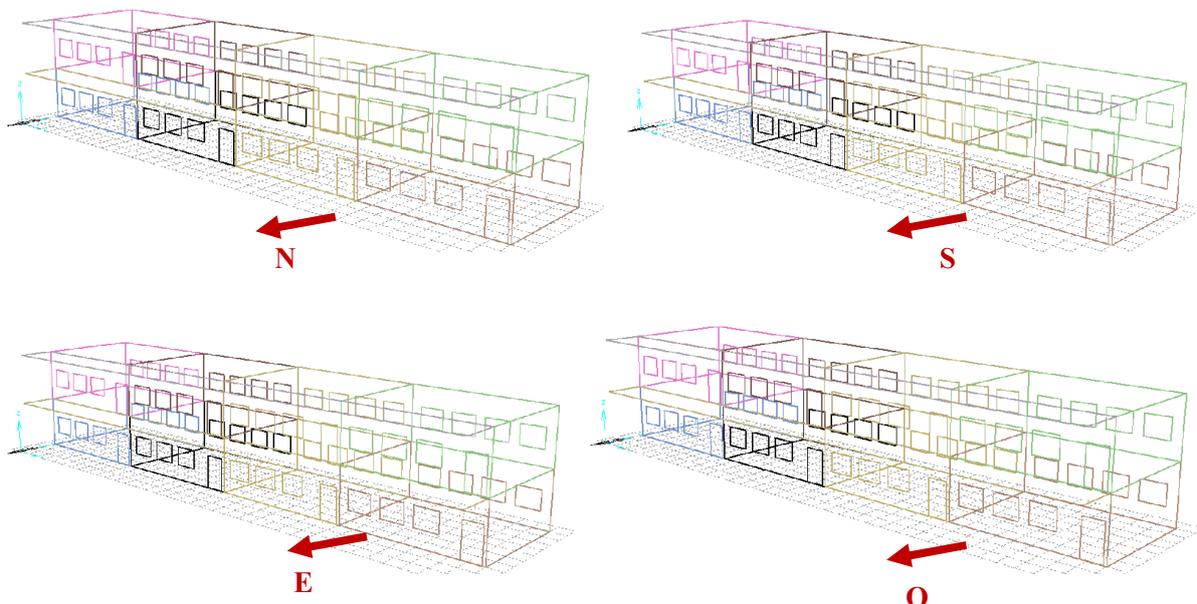


Figure.VI.5. Modèles à simuler pour étudier l'influence de l'orientation sur les performances énergétiques des CEM de type I.

- **Pour le type II** (double rangées avec cour) : de même, pour la modélisation de ce type, les quatre orientations (Nord, Sud, Est et Ouest) seront prises en considération. L'orientation de ce type est celle de la façade de la première rangée (la rangée décalée) doté de corridor.

Les différentes orientations prises en considération sont présentées dans les figures ci-dessous :

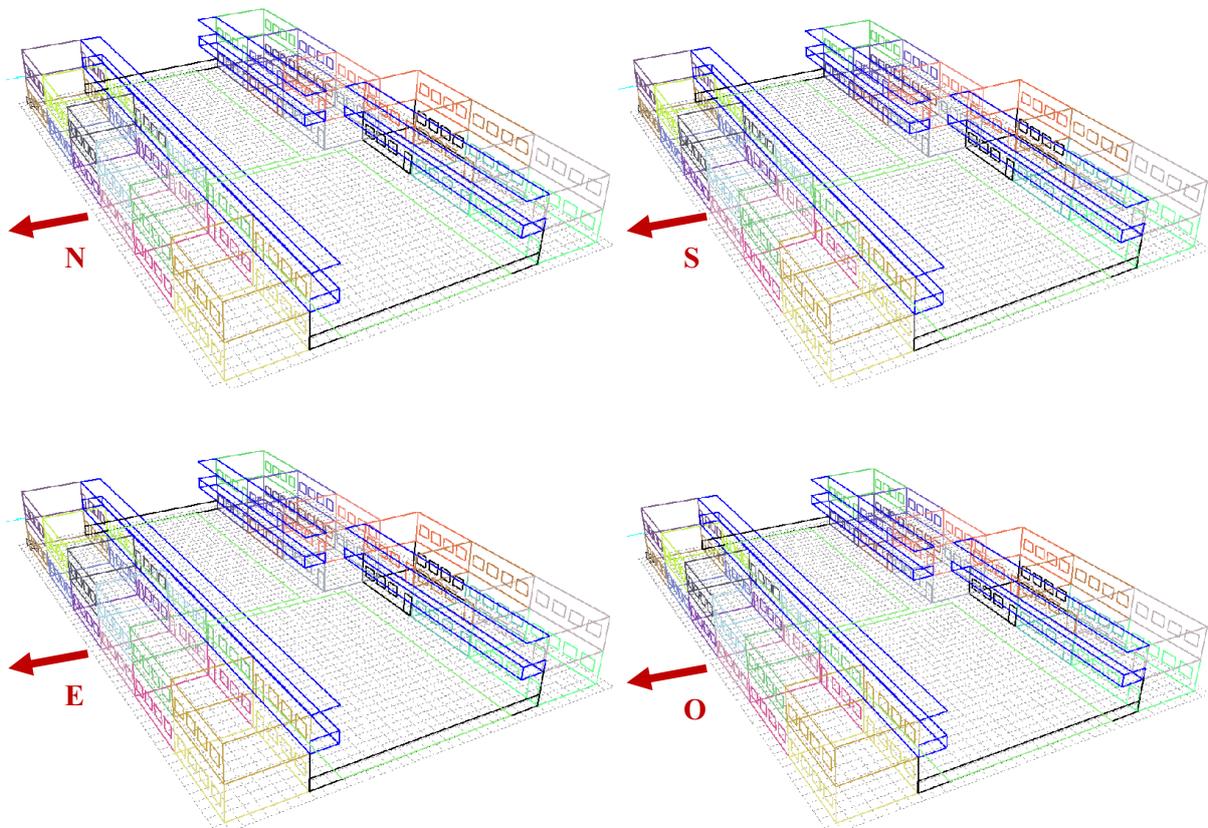


Figure.VI.6. Modèles à simuler pour étudier l'influence de l'orientation sur les performances énergétiques des CEM de type II.

- **Pour le type III** (mono-rangée décalé) : Les quatre orientations (Nord, Sud, Est et Ouest) seront considérées selon l'orientation de la façade (façade dotée de corridor) des salles de classe de la partie supérieure, comme présenté dans la figure VI.7.

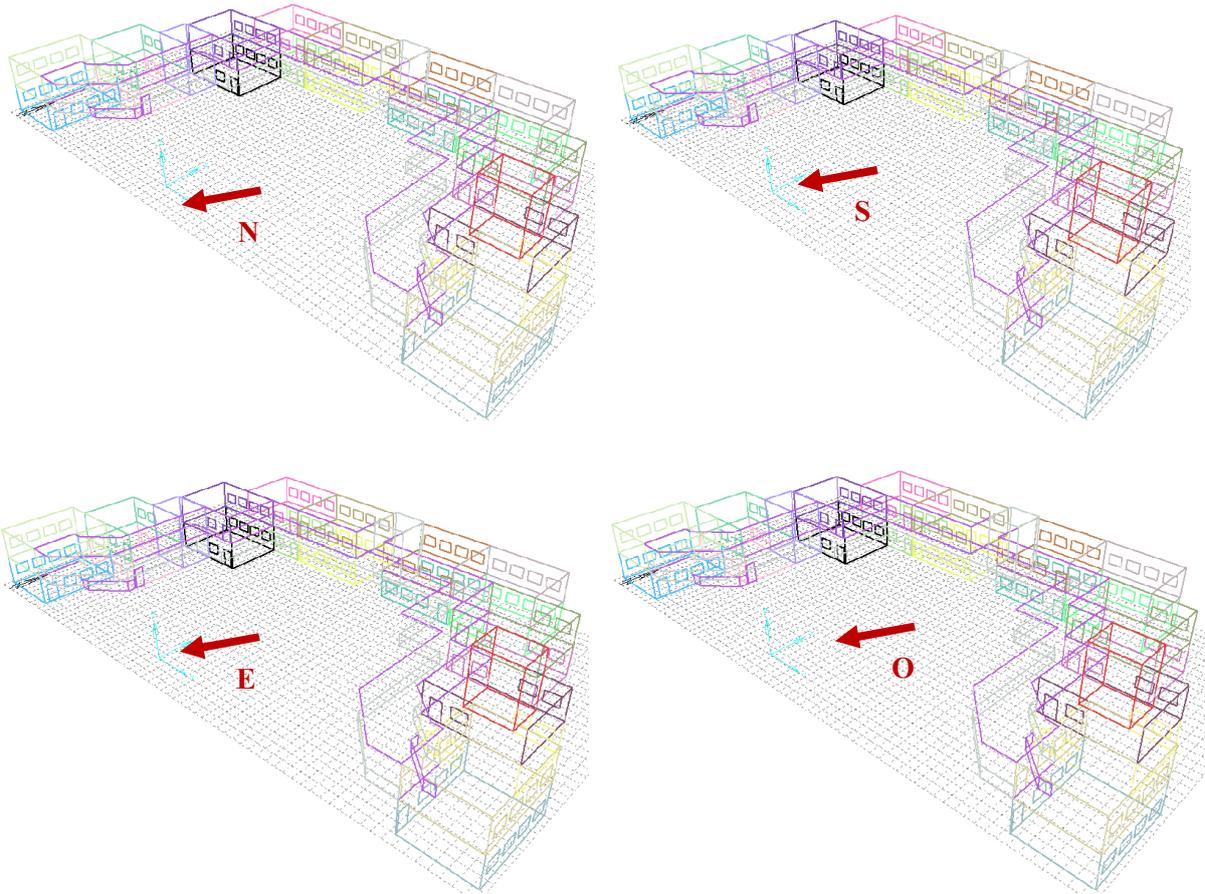


Figure.VI.7. Modèles à simuler pour étudier l'influence de l'orientation sur les performances énergétiques des CEM de type III.

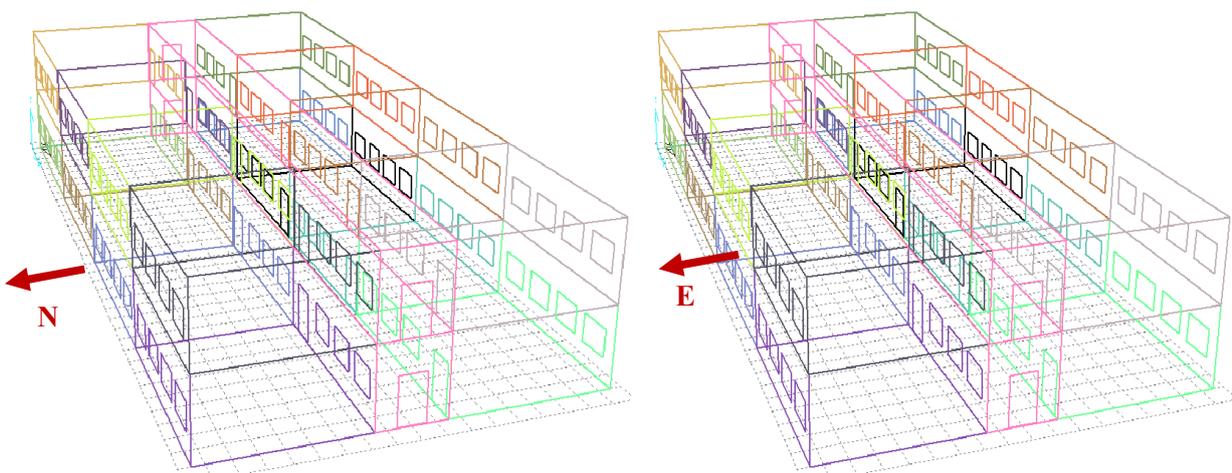


Figure.VI.8. Modèles à simuler pour étudier l'influence de l'orientation sur les performances énergétiques des CEM de type IV

- **Pour le type IV** (double rangées avec couloir) : caractérisé par la symétrie de sa conception selon les deux axes : Nord-sud et Est-Ouest. L'orientation de ce type de CEM, dépend de l'orientation de la façade principale comme présenté dans la figure ci-dessus.
- Vue la symétrie de ce type selon les deux axes Nord-sud et Est-Ouest, Les résultats des simulations obtenus pour ce type de CEM sont similaires selon les deux orientations Nord et Sud et aussi, selon les deux orientations Est et Ouest.

VI.2. RESULTATS ET INTERPRETATION

Pour étudier l'influence de chaque paramètre sur les performances énergétiques des quatre types de CEM proposés dans le cadre de notre travail, l'analyse prévoit, la simulation de tous les modèles en termes de : pourcentage d'ombrage, d'ensoleillement, de l'évolution temporelle de la température au sein des salles de classe et enfin du facteur de lumière du jour (FLJ). Les résultats obtenus pour chaque modèle sont largement présentés sous forme graphiques et tableaux générés par le logiciel ECOTECT, utilisé dans les simulations.

Afin de limiter la présentation de ces résultats, nous avons mené l'étude pour trois jours de l'année. Ces jours sont : les solstices d'hiver et d'été représentés par les journées du 21 Décembre et du 21 Juin et enfin l'équinoxe du printemps représenté par la journée du 21 Mars. Ce choix est justifié par le fait que ces jours sont respectivement : le jour le plus court de l'année, le second est le jour le plus long de l'année, le troisième jour est caractérisé par des durées égales entre le jour et la nuit et par des températures moyennes comparées à celles des deux jours précédents. Dans le but de limiter la présentation des résultats, l'étude est menée sur un intervalle de temps compris entre 8h :00 et 17h : 00. Ce choix est dû principalement à la présence des élèves à l'intérieur des salles de classe durant cette tranche d'heures.

VI.3. INFLUENCE DE L'ORIENTATION ET DE LA GEOMETRIE SUR LES PERFORMANCES ENERGETIQUE

Afin d'étudier l'influence de l'orientation et de la géométrie sur les performances énergétiques des quatre types de CEM proposés, nous présentons dans cette partie les résultats

des simulations : du coefficient d'ombrage, de la répartition spatiale de l'ensoleillement à l'intérieur des salles de classe, de l'évolution temporelle de la température et enfin le FLJ, pour les quatre orientations Nord, Sud, Est et Ouest et pour les quatre types de CEM.

Dans la présentation ci-dessous, les résultats de simulation du facteur d'ombrage et de la répartition de l'ensoleillement seront présentés simultanément

Dans les simulations des FLJ de chaque type de CEM, le ciel est supposé dans un état couvert, cela est dû à la limitation du logiciel utilisé (ECOTECH) qui ne peut prendre en compte que cet état du ciel. Pour cette condition, les FLJ des quatre types de CEM sont indépendants de l'orientation des baies vitrées, de la saison et de l'heure du jour.

VI.3.1. POUR L'ORIENTATION NORD

Dans cette première partie, nous présentons les résultats de simulations des quatre types de CEM selon l'orientation Nord (N), durant les trois mois de références, désignés respectivement par le mois de Décembre (D), le mois de Mars (M) et enfin le mois de Juin (J). Chaque mois est représenté par la journée du 21 de chaque mois.

VI.3.1.1. OMBRAGE ET ENSOLEILLEMENT

VI.3.1.1.1. Pour le mois de décembre

Le mois de décembre se caractérise par la journée la plus courte de l'année, qui est celle du 21, où l'altitude du soleil est la plus basse de l'année. Pour cette journée, l'altitude du soleil est inférieure à 30° avec un maximum de 31.7° à 12h : 30. Quant aux azimuts du lieu considéré, ils oscillent entre -60° et 60° , offrant de ce fait un petit champ d'exposition au soleil.

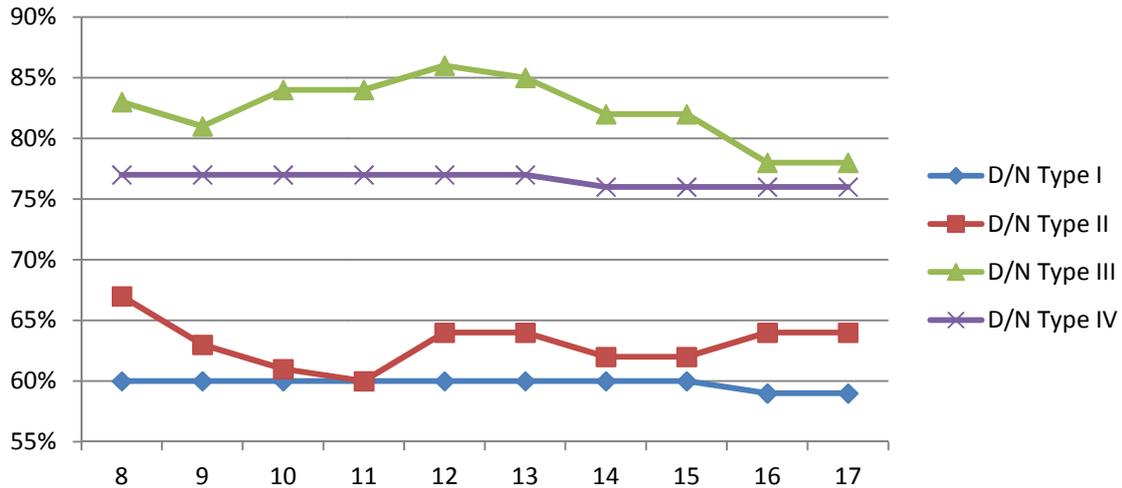


Figure .VI.9. Coefficients d'ombrages des quatre types de CEM durant le mois de décembre selon l'orientation Nord

En comparant les résultats de simulation des coefficients d'ombrage des quatre types de CEM présentés dans la figure VI.9 on peut conclure que :

- Le type III est le type le plus ombragé. Son coefficient d'ombrage est le plus élevé durant toute la journée, ce dernier, varie entre 78% et 83%, il atteint son maximum de 86% à midi et son minimum de 78 % à partir de 16h :00.

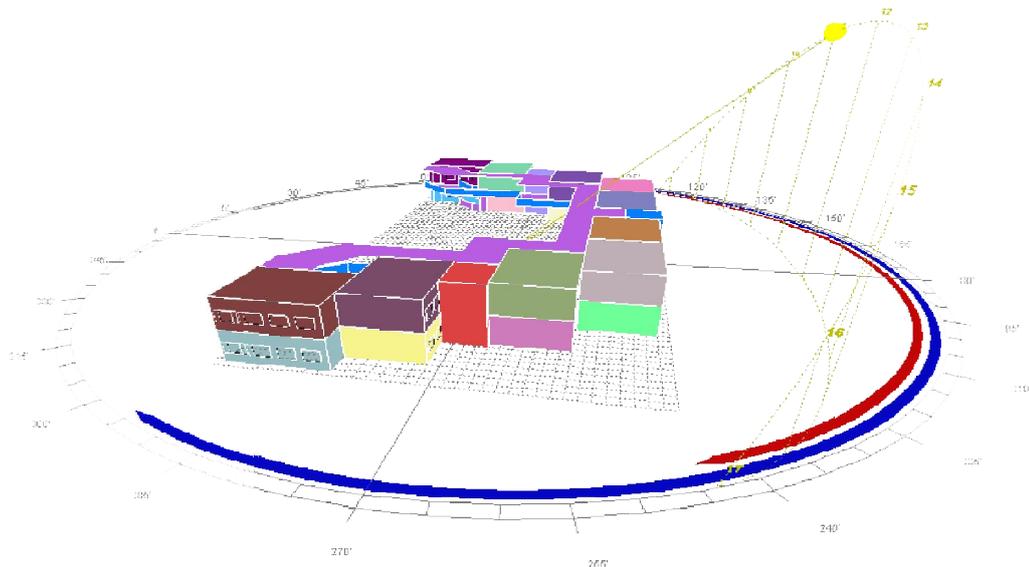


Figure.VI.10. Vue tridimensionnelle du type III orienté vers le Nord ainsi que la trajectoire du soleil pour le 21 Décembre.

- Selon la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Décembre ainsi que la conception de ce type de CEM présentées dans la figure VI.10, on constate que le soleil atteint les façades des quatre salles supérieures orientées vers le sud durant toute la durée d'étude. Pour les autres salles, le soleil peut les atteindre partiellement à travers leurs façades orientées vers le Sud avec des durées moins importantes, ceci est dû à la spécificité de la conception de ce type caractérisée par la présence des décrochements des salles de classe. Ces décrochements occulte les deux cotés, Est de 8h :00 à 11h : 00 et l'Ouest à partir de 14h : 00.
- Ces conditions offrent une tache solaire réparti d'une manière indifférente d'une salle à une autre. Les salles supérieures sont les salles les plus ensoleillées avec une tache solaire réparti sur une surface de 50% de la surface d'une seule salle, prêt des façades en exposition avec une durée maximale qui peut atteindre les de 5 heures. Pour les quatre salles centrales, la tache solaire pénètre partiellement les salles selon la disposition des fenêtres en orientation Sud. La durée maximale de la tache solaire peut atteindre les 3 heures et demi. Pour les deux salles inférieures, la tache solaire pénètre à l'intérieur des salles à travers les fenêtres en orientation Est et Ouest, offrant ainsi, une tache solaire réparti sur une surface de 45% avec une durée maximale de deux heures.

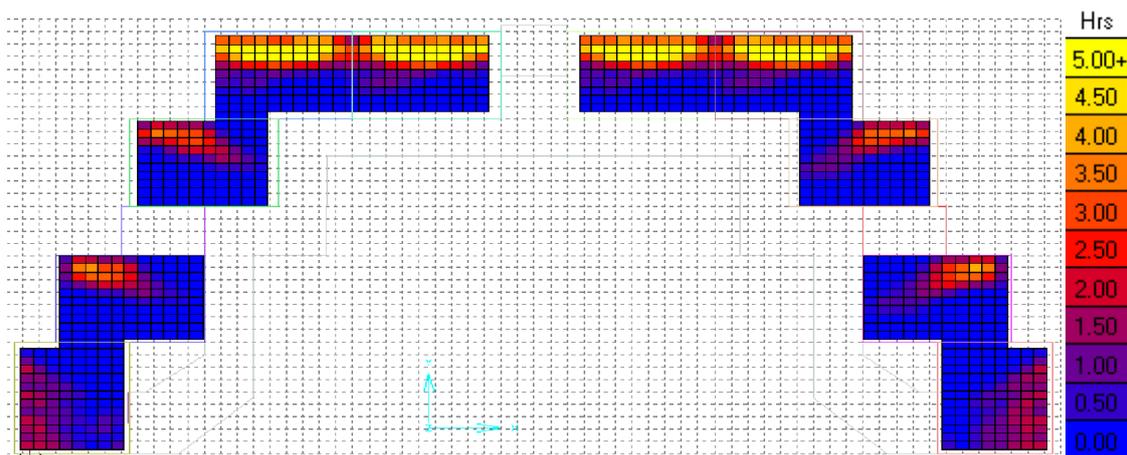


Figure VI.11. Cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Décembre pour le type III, avec une orientation NORD du corridor.

- pour le mois considéré, le type IV est moins ombré par rapport au type III, mais il est le plus ombré par rapport aux types I et II avec un coefficient d'ombrage quasiment constant durant toute la durée d'étude avec la valeur de 77%.

Comme présenté dans la figure VI.12.a, seule la façade en orientation Sud est en exposition directe avec le soleil durant toute la journée. Quant à celle orientée vers le Nord, elle est en totale occultation, le soleil ne peut jamais atteindre cette façade.

- L'altitude et l'angle que fait le soleil par rapport à cette disposition, favorise l'ensoleillement de l'intérieur des salles à travers les façades en exposition. Offrant ainsi, une tache solaire qui se rangee prêt des surface en exposition. L'ensoleillement est presque constant durant toute la durée d'étude, offrant ainsi, un coefficient d'ombrage presque constant.

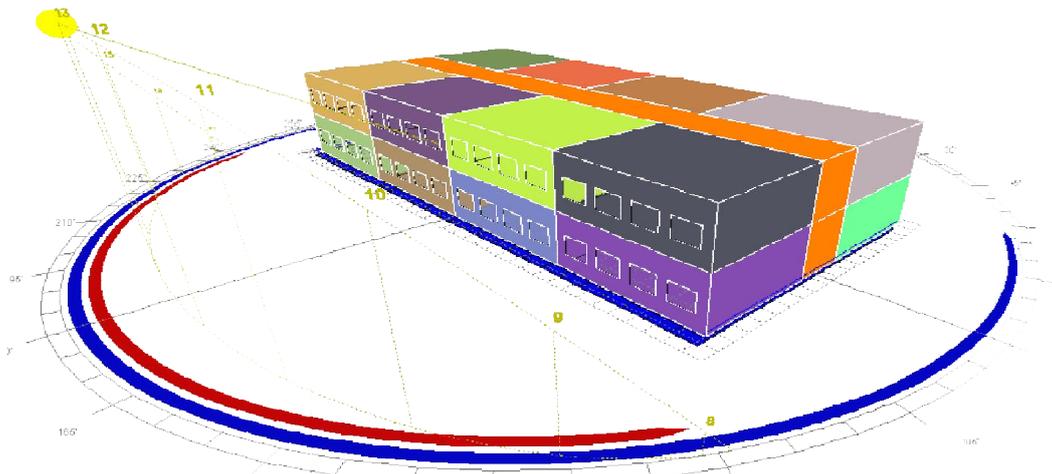


Figure.VI.12.a. Vue tridimensionnelle du type IV orienté vers le Nord ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Décembre.

- A l'intérieur des salles de ce type, La tache solaire se répartit sur une surface de 55% dans les salles de la première rangée, prêt des façades dans l'orientation est vers le Sud avec une durée maximale qui peut atteindre les cinq heures. Pour les salles de deuxième rangée, la tache solaire est presque nulle, Cela est dû à la présence du corridor entre les deux rangées ainsi que l'effet d'occultation à l'ensoleillement provoqué par les salles de la première rangée.

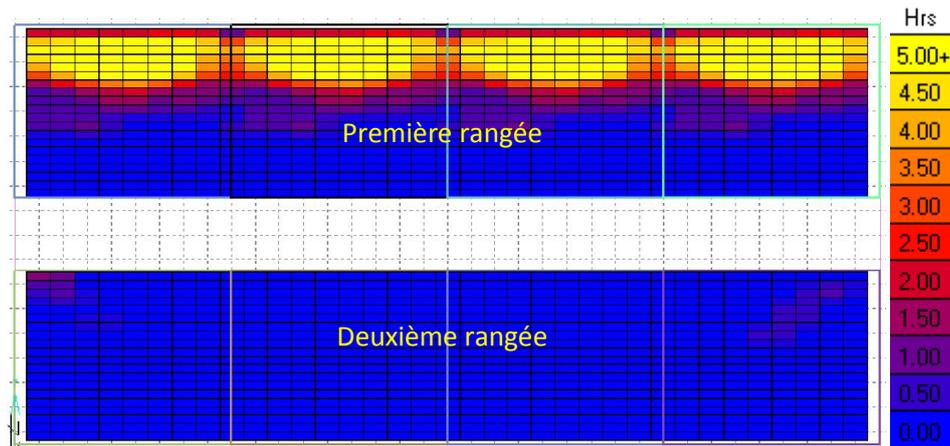


Figure VI.12.b. Cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Décembre pour le type IV, avec une orientation NORD du corridor.

- Le type II est moins ombré par rapport aux types : III et IV avec un coefficient d'ombrage qui varie entre 67% et 64% durant la tranche horaire d'étude. Il atteint son maximum de 67% à 8h : 00 et son minimum de 60% à 11h : 00.
- Selon la trajectoire du soleil ainsi que la conception de ce type présentées dans la figure VI.13, on constate que le soleil atteint toutes les salles de classe à travers les façades dans l'orientation est vers le Sud. Cette disposition, favorise l'enseillement de l'intérieur des salles de classe offrant ainsi un coefficient d'ombrage moins important par rapport à celui des types précédents (type IV et type III).

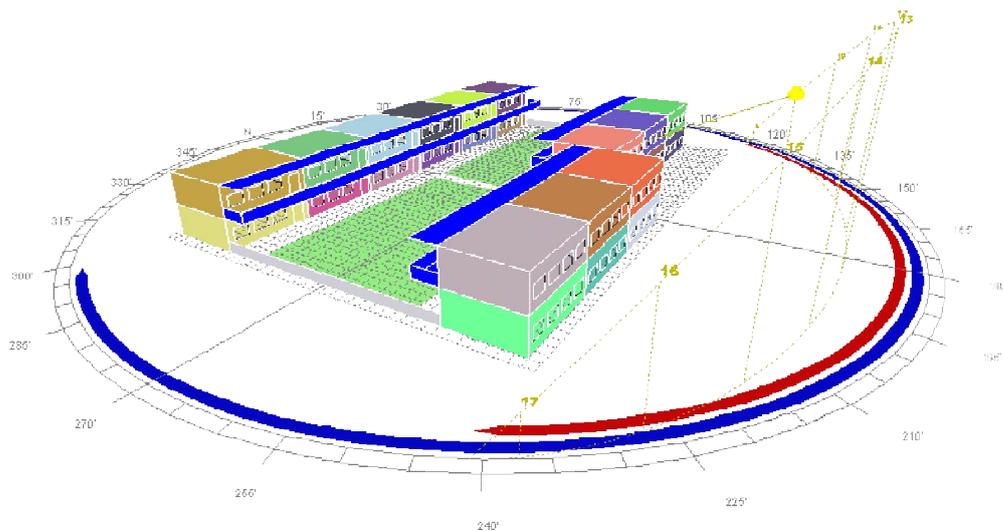


Figure.VI.13. Vue tridimensionnelle du type II orienté vers le Nord ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Décembre.

- la tache solaire dans chaque salle occupe presque une surface de 45 % où elle se répartit près des façades orientées vers le Sud. Cette répartition diffère d'une rangée à une autre, mais elle est homogène par rapport aux salles de chaque rangée. Pour ce type de CEM, La durée maximale de la tache solaire atteint les six heures.

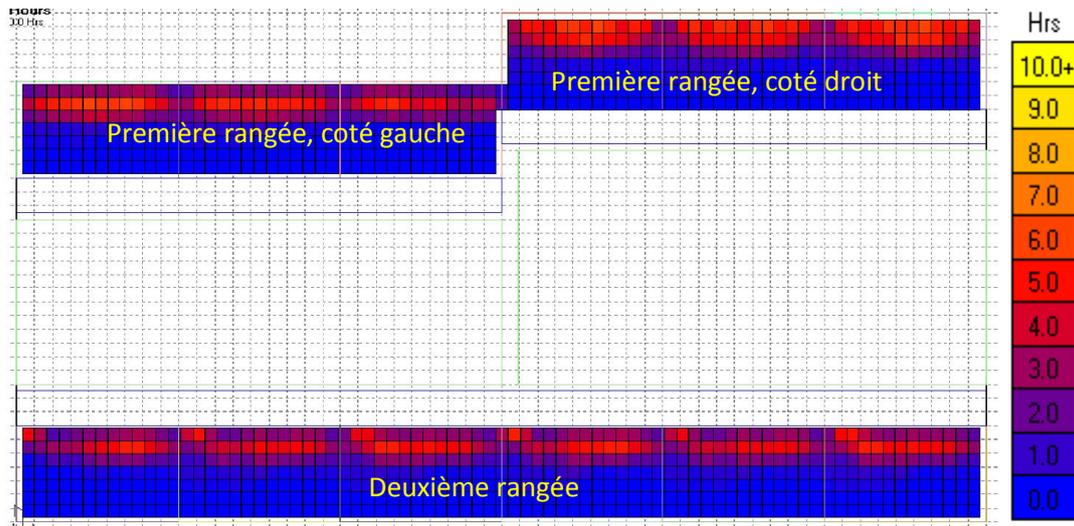


Figure VI.14. Cumul d'ensoleillement entre 8h et 17h du 21 Décembre pour le type II, avec une orientation NORD du corridor.

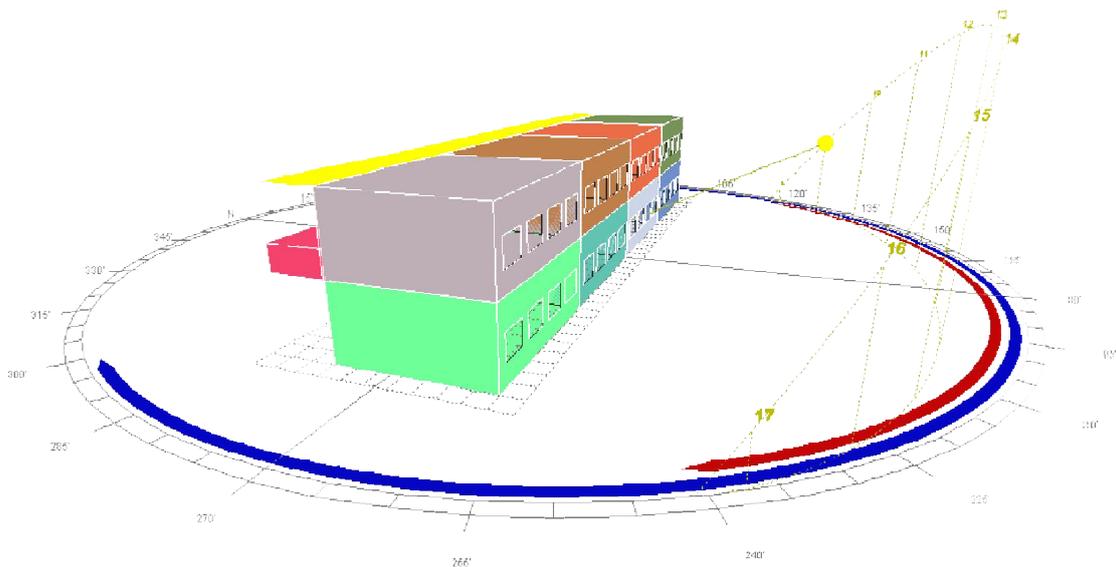
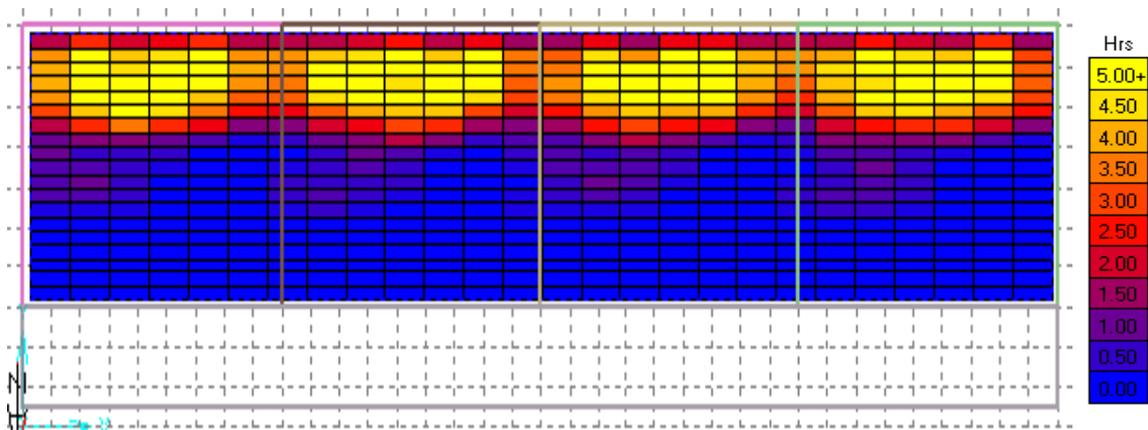


Figure.VI.15. Vue tridimensionnelle du type I orienté vers le Nord ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Décembre.

- Pour l'orientation considérée, le type I est le type le moins ombré avec un coefficient d'ombrage quasiment constant durant toute la journée (de l'ordre de 60 %), cela est dû à sa conception présentée dans la figure VI.15, où le soleil atteint toutes les salles de classe à travers les façades orientées vers le Sud. Ces derniers, reçoivent du soleil durant toute la durée d'étude offrant ainsi, une tache solaire réparti de façon similaire d'une salle à une autre et sur une surface de 45% de la surface totale de chaque salle. La durée maximale de la tache solaire peut atteindre les cinq heures.



- Figure VI.16. Cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Décembre pour le type I, avec une orientation NORD du corridor.

Le mois de Décembre est caractérisé généralement par un ciel couvert. Dans ces conditions, le type le plus performant énergétiquement doit avoir un éclairage optimal, donc un peu plus élevé, donc un coefficient d'ombrage minime. D'après les résultats des simulations présentés ci-dessus, et selon un ordre croissant du coefficient d'ombrage, on peut dire que les CEM de type I sont les plus favorable en terme d'ombrage suivis par les CEM de type II puis les CEM de type IV et enfin les CEM de type III qui sont les CEM les plus ombré donc les plus défavorable en terme d'ombrage selon le mois et l'orientation considérée.

La tache solaire à l'intérieur des salles de classe pour les quatre types de CEM se répartit sur une surface considérable où elle peut occupée une surface de 50 % de la surface intérieure d'une salle de classe. Le soleil peut atteindre toutes les salles de classe. Cela est dû principalement aux faibles altitudes du soleil durant le mois de Décembre. Ceci présente l'inconvénient de pouvoir provoquer un éblouissement à l'intérieur des salles, sauf

pour ceux de la deuxième rangée des CEM de type IV, où le soleil ne peut jamais les atteindre

VI.3.1.1.2. Pour le mois de Mars

Le mois de Mars caractérisé par des hauteurs du soleil plus importantes que celle du mois précédent et dont les valeurs se situent entre 27° et 57° avec un plus large azimut variant entre -70° et $+75^\circ$ encore plus large que celui du mois précédent. Dans ces conditions et d'après les résultats des simulations des coefficients d'ombrage des quatre types de CEM présenté dans la figure VI.17 on peut conclure que :

- Le type III est toujours le type le plus ombragé avec un coefficient d'ombrage qui varie entre 85% et 89% durant la tranche horaire d'étude. Il atteint son maximum de 89 % entre 10h :00 et midi et son minimum de 85 % à 8h : 00 et à 17h : 00.

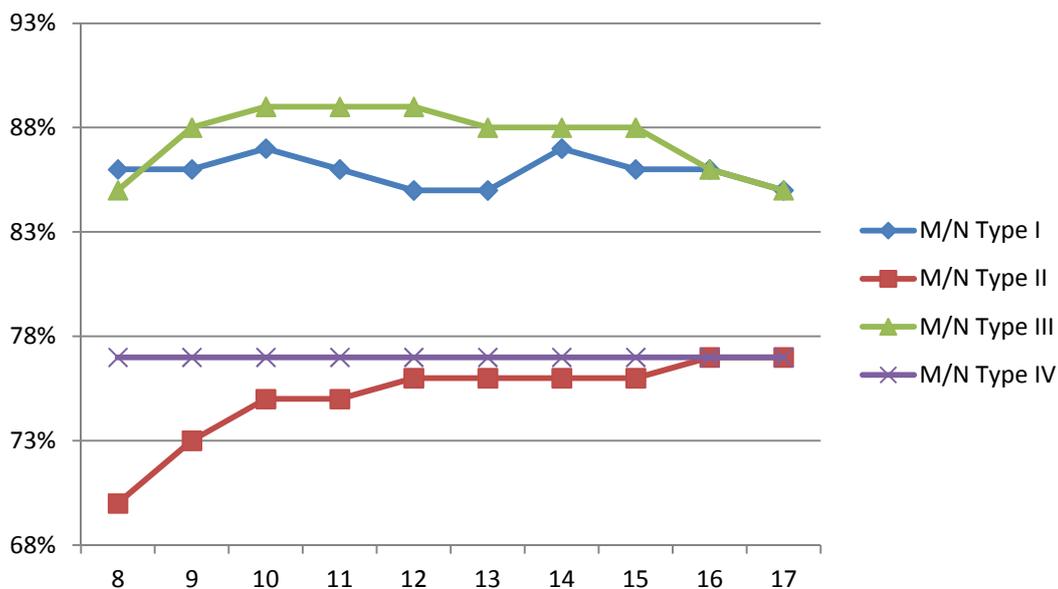
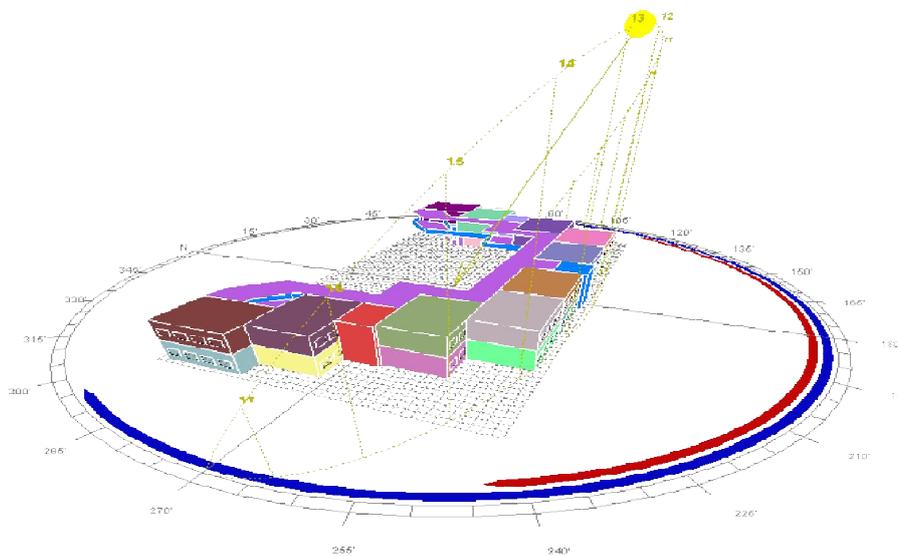


Figure VI.17. Coefficients d'ombrages des quatre types de CEM durant le mois de Mars selon l'orientation Nord

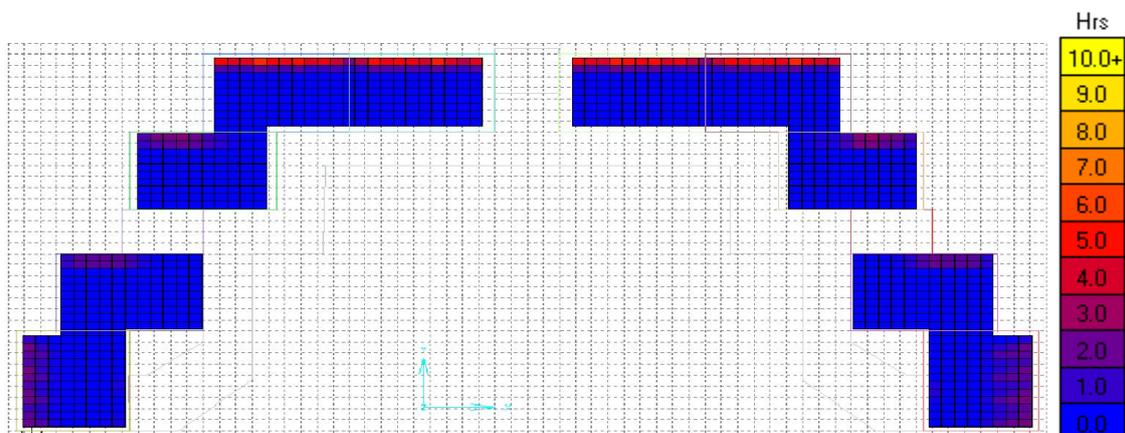
- Les salles des classes des CEM de type III pour le mois considéré, sont plus ombrées comparées à celles du mois précédent. Cela est dû à la trajectoire du soleil durant le mois de Mars, caractérisé par des altitudes et des azimuts supérieurs à celles du mois précédent, dans ces conditions, le soleil placé au dessus des salles de classe ne peut pas

les atteindre en profondeur, offrant ainsi, un coefficient d'ombrage plus important par rapport à celui du mois précédent.

- Selon la répartition spatiale de l'ensoleillement présenté dans la figure VI.19, on remarque que la tache solaire se répartit sur une faible surface dans les quatre premières salles situées dans la première ligne du Sud, cette tache occupe une surface de 16% de la surface totale de chaque salle avec une durée maximale de cinq heures. Pour les autres salles, la tache solaire se concentre près des fenêtres en orientations Sud mais sur une faible surface comparée à celle du mois précédent. Dans ces salles, la durée maximale de la tache solaire est de trois heures.



- Figure.VI.18. Vue tridimensionnelle du type III orienté vers le Nord ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Mars.



- Figure VI.19. Cumul d'ensoleillement entre 8h et 17h du 21 Mars pour le type III, avec une orientation NORD du corridor.

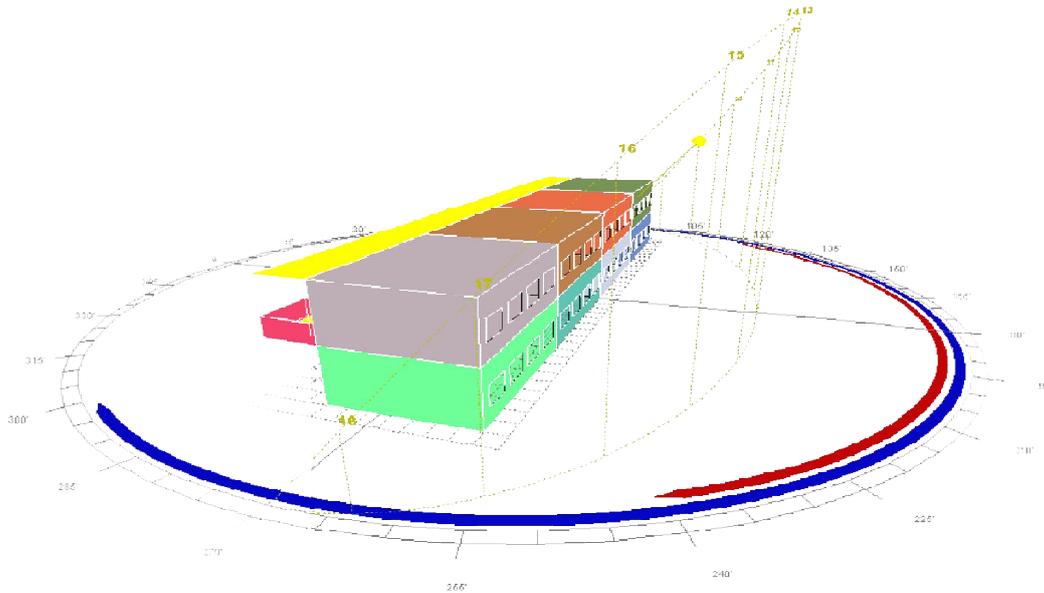


Figure.VI.20. Vue tridimensionnelle du type I orienté vers le Nord ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Mars.

- Le type I est le type le plus ombragé par rapport aux types II et IV avec un coefficient d'ombrage qui varie entre 85% et 87%. Ce dernier, atteint son maximum de 8% à 10h : 00 et à 4h : 00 et son minimum de 85% à midi et à 13h : 00.
- Selon la trajectoire du soleil pour le mois de Mars présentée dans la figure VI.20, on constate que seules les façades en orientation sud sont en exposition au soleil durant la tranche horaire d'étude.
- Pour le mois considéré, vue les altitudes importantes du soleil par rapport à celle du mois précédent, l'ensevelissement ne peut pas atteindre les profondeurs des salles de classe à travers les façades en exposition, offrant ainsi, un coefficient d'ombrage plus important par rapport à celui du mois de Décembre.
- Selon la répartition spatiale de l'ensevelissement du type I pour le mois de Mars présentée dans la figure VI.21, on peut dire que la tache solaire se répartit d'une manière similaire d'une salle à une autre, occupant une surface moins importante par rapport à celle du mois de Décembre, en effet, cette surface est de l'ordre de 16% de la surface totale d'une seule salle pour le mois considéré alors quelle est de 45% pour le mois de Décembre. Elle se répartit toujours à l'intérieure des salles prêt des façades en orientation Sud avec une durée maximale de sept heures.

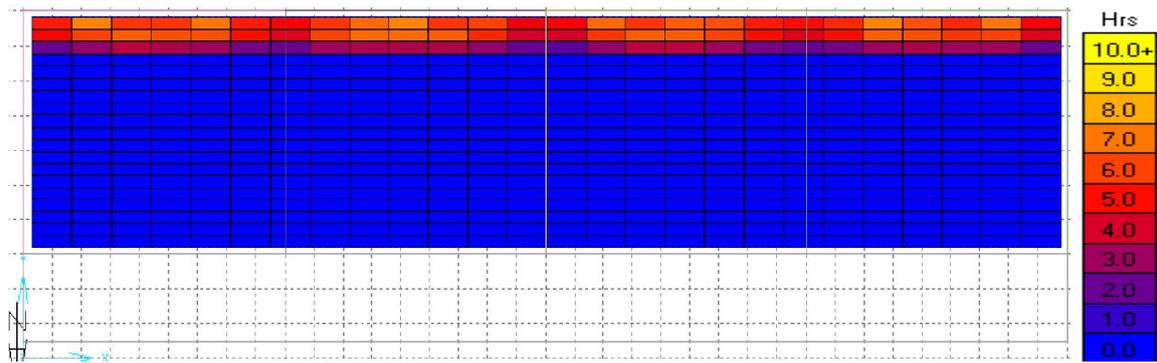


Figure VI.21. Cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Mars pour le type I, avec une orientation NORD du corridor.

- Le type IV est moins ombré par rapport aux types présentés précédemment avec un coefficient d'ombrage de 77%, constant durant toute la durée d'étude.
- Selon la conception de ce type ainsi que la trajectoire du soleil présentée dans la figure VI.22, on peut dire que seule la façade orientée vers les Sud est ensoleillée, le soleil atteint cette façade durant la tranche horaire allant de 10h : 00 à 16h : 00. Pour les salles orientées vers le Nord, le soleil ne peut jamais les atteindre. Ces conditions offrent une tache solaire dans les salles de la première rangée moins importante par rapport à celle du mois précédent, cette tache se répartit à l'intérieure de chaque salle et sur une surfaces de 15% prêt des façades orientées vers le Sud, avec une durée maximale de six heures. Pour les salles de la deuxième rangée, la tache solaire est totalement nulle.

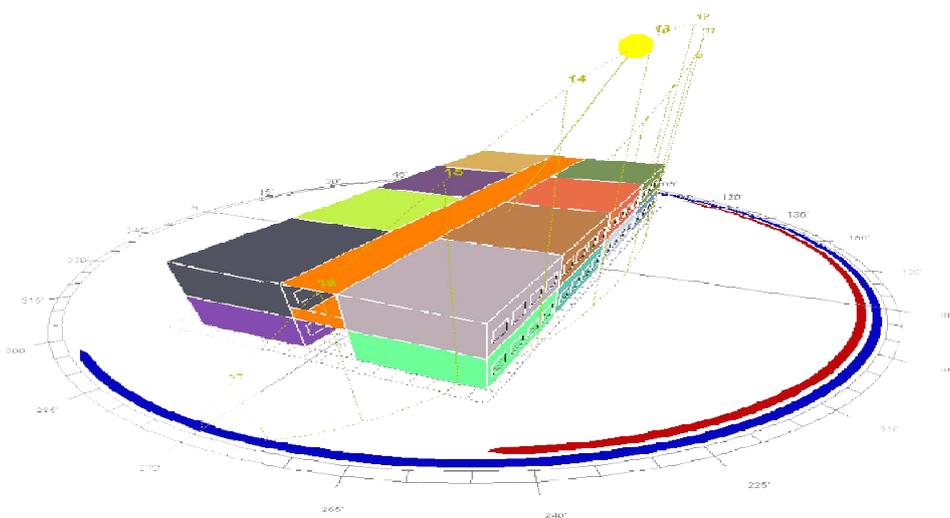


Figure.VI.22. Vue tridimensionnelle du type IV orienté vers le Nord ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Mars.

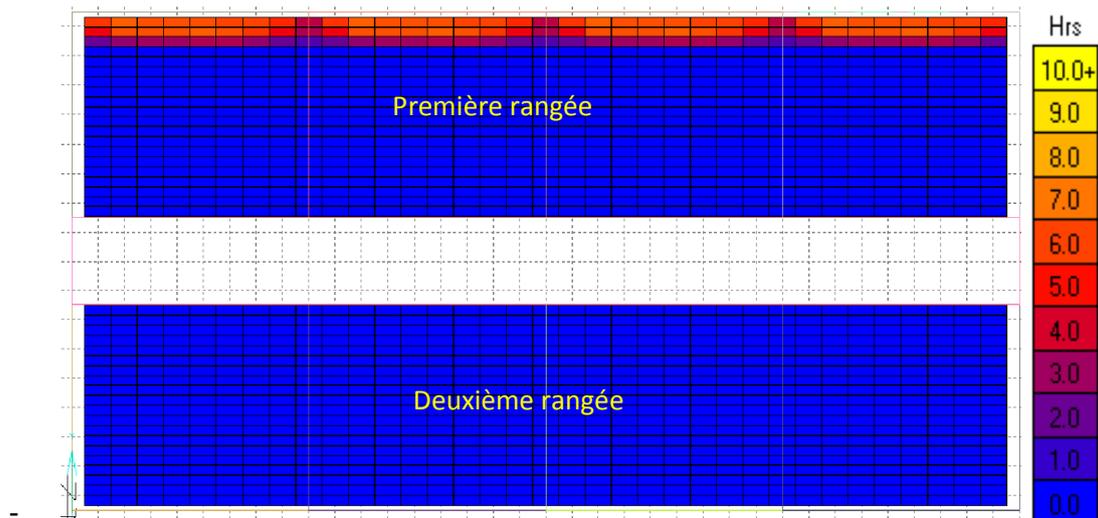


Figure VI.23. Cumul d'insolation entre 8h et 17h du 21 Mars pour le type IV, avec une orientation NORD du corridor.

- Pour le mois de Mars, le type II est le type le moins ombré avec un coefficient d'ombrage qui varie entre 70% et 77%. Il atteint son minimum de 70% à 8h :00 et son maximum de 77% à 17h :00. Le coefficient d'ombrage de ce type pour le mois considéré est supérieur à celui du mois précédent. Cela est dû aux altitudes du soleil pour le mois de Mars, supérieures à celles du mois précédent. Dans ces conditions, le soleil ne peut pas atteindre le fond des salles de classe, offrant ainsi, un ensoleillement plus faible à celui du mois précédent.
- Selon la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Mars ainsi que la conception de ce type de CEM présenté dans la figure VI.24. le soleil ne peut atteindre que les façades des salles de classe de la première rangée, dont l'orientation est vers le Sud, offrant ainsi, une tache solaire répartit sur une surface de 14% avec une durée maximale de quatre heures.
- Comme montré dans la figure VI.25, l'insolation à l'intérieure des salles des CEM de type II est moins important à celui du mois de Décembre. La tache solaire occupe une surface de 15% contre celle de 45 % pour le mois de Décembre. Cette tache se concentre à l'intérieur des salles de la première rangée, orientée vers le Sud avec une durée maximale de quatre heures. La tache solaire dans les salles de la deuxième rangée est totalement nulle.

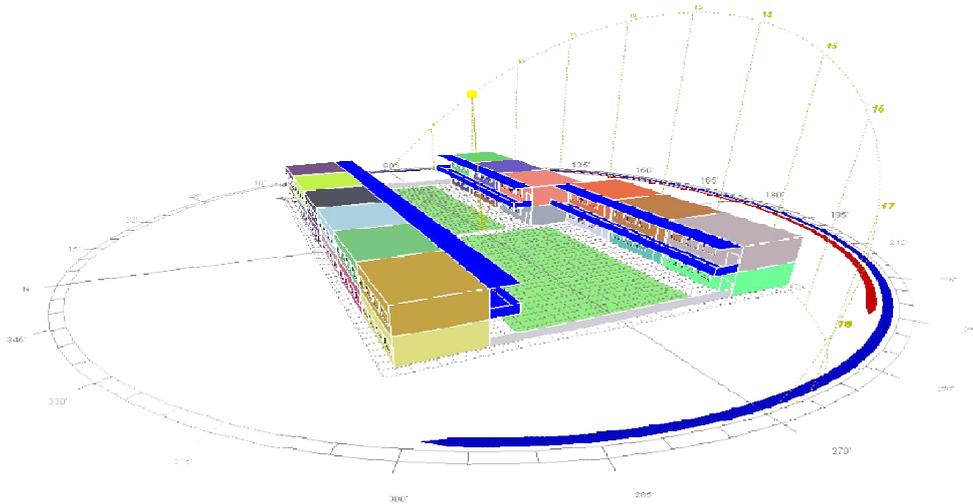


Figure.VI.24. Vue tridimensionnelle du type IV orienté vers le Nord ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Mars.

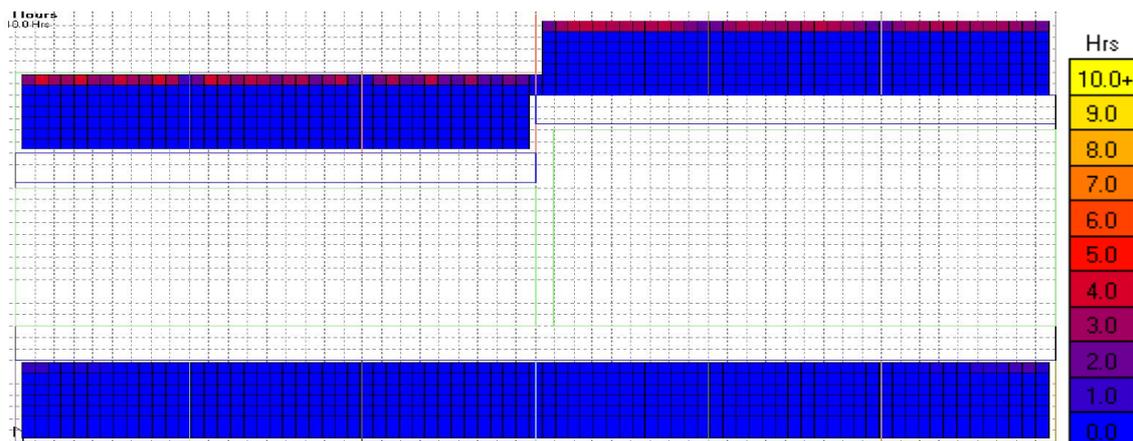


Figure VI.25. Cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Mars pour le type II, avec une orientation NORD du corridor.

Le mois de Mars est caractérisé par un ciel plus éclairé à celui du moi précédent. Tenant compte de cette condition, on peut dire que le type le plus performant énergétiquement doit avoir à l'intérieur des salles, un éclairage optimal, donc un coefficient d'ombrage modéré. D'après les résultats des simulations présentés précédemment, on peut dire que les CEM de type II sont les plus ensoleillés, suivie par les CEM de type IV, puis les CEM de type I et enfin les CEM de type II qui sont les plus ombragés.

Concernant l'enseillement, la tache solaire se répartit près des surfaces voisines aux fenêtres, de plus, elle est très minime, voir nulle, dans certains cas, comme par exemple

les CEM en double rangées, c'est-à-dire les CEM de type II et de type IV où le soleil ne peut jamais atteindre les salles de la deuxième rangée. On peut dire alors, que pour le mois de Mars et selon l'orientation Nord, l'éblouissement à l'intérieur des salles est minime voir nul. Le risque d'éblouissement est minime dans l'ensemble de CEM pour le mois de mars, cela est dû aux altitudes élevées du soleil durant le mois de Mars comparées à celles du mois de Décembre.

VI.3.1.1.3. Pour le mois de Juin

Le mois de Juin est caractérisé par des azimuts et des altitudes représentant des valeurs maximales de l'année. Ainsi, nous observons un champ d'azimut qui va de -118° à $+118^{\circ}$ et des altitudes qui vont de 37° à 08h : 00 à 78° à 12h : 00. Selon les résultats de simulation présentés ci-dessous et pour la trajectoire du soleil durant ce jours présentée dans la figure VI.27, on peut conclure que :

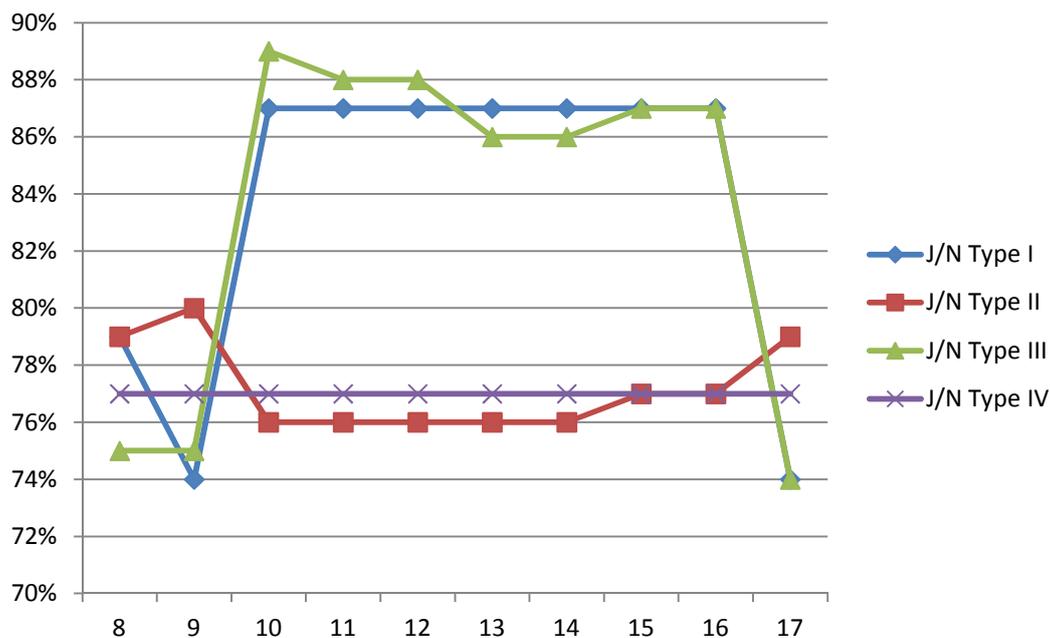
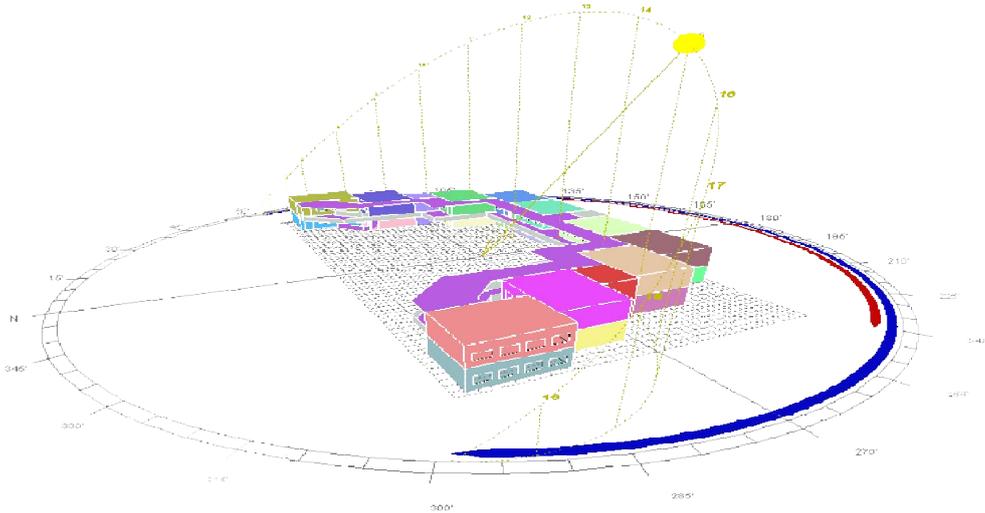


Figure VI.26. Coefficients d'ombrages en pourcentages des quatre types de CEM durant le mois de Juin selon l'orientation Nord.

- Les types : I et III sont les types les plus ombrés par rapports aux types : II et IV. Le type I garde un coefficient d'ombrage constant de valeur de 87% durant la tranche horaire comprise entre 10h : 00 et 16h : 00. Ce coefficient, atteint son minimum de 74% à 9h : 00 et à 17h : 00.

- Le type I est moins ombré par rapport au type III. Ces deux types, sont caractérisés par le même coefficient d'ombrage durant la tranche horaire comprise entre 15h : 00 et 17h : 00. Selon la valeur moyenne des coefficients d'ombrage des types I et III, on peut dire que le type III est le type le plus ombré avec une valeur moyenne de 82% comparée à celle de 77% pour le type I.



- Figure.VI.27. Vue tridimensionnelle du type III orienté vers le Nord ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Juin.

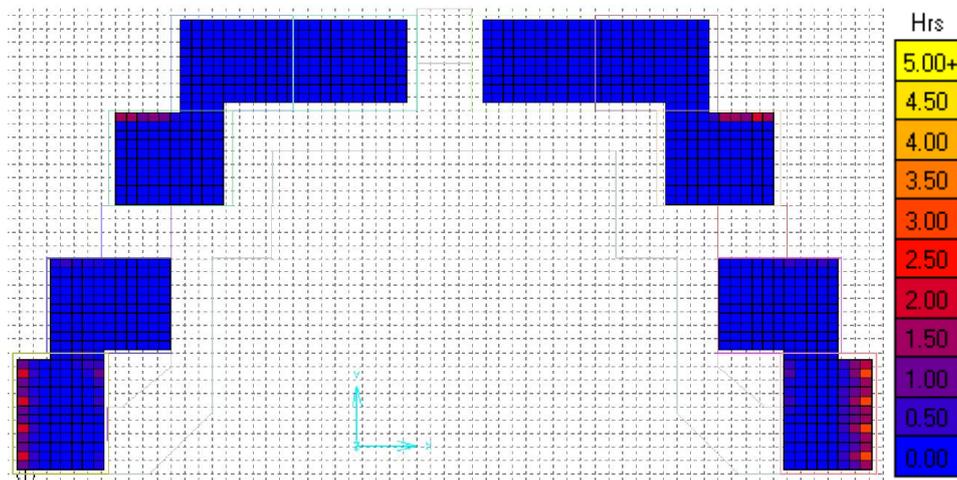


Figure VI.28. Cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Juin pour le type III, avec une orientation NORD du corridor.

- Pour la journée du 21 Juin et selon la conception des CEM de type III, présentés dans la figure IV.28, le soleil suit une trajectoire placée au dessus des salles des

classes, ce dernier, ne peut pas atteindre les façades des salles de classe sauf les façades des salles de classe inférieures, dans les orientations est vers l'Est et l'Ouest. Le soleil peut les atteindre pendant le levé et le couché du soleil, offrant ainsi une tache solaire répartit sur une faible surface à l'intérieures de ces salles.

- La tache solaire des salles du type considéré, est moins importante durant le mois de Juin comparée à celles des deux mois précédents.

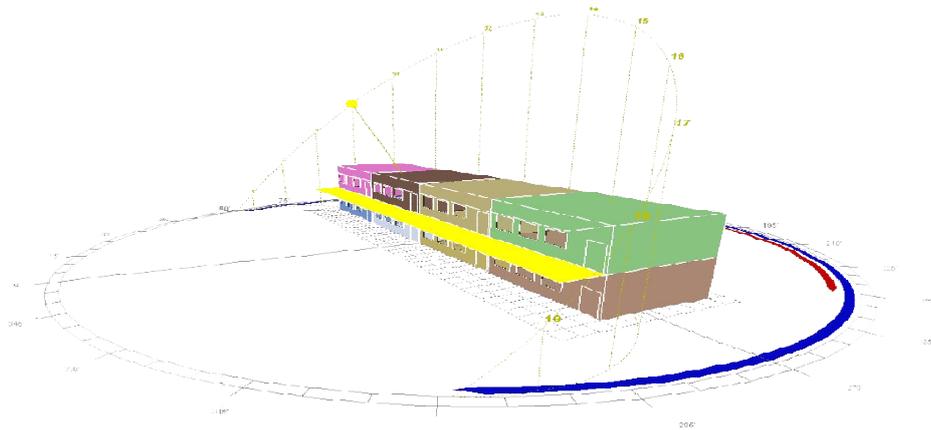


Figure.VI.29. Vue tridimensionnelle du type I orienté vers le Nord ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Juin.

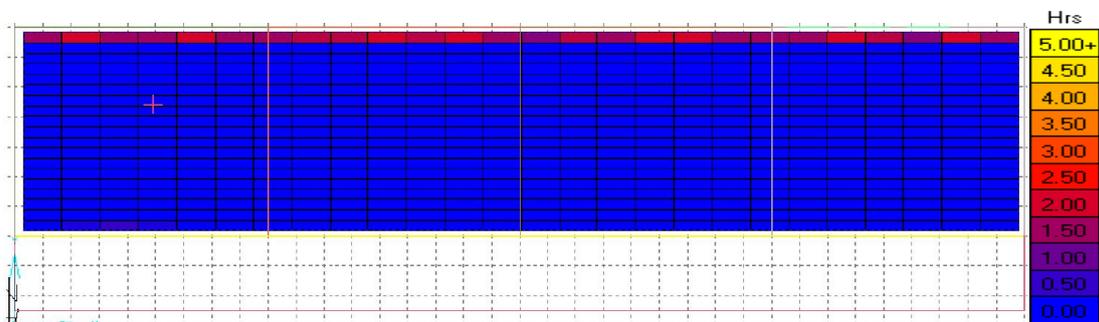


Figure VI.30. Cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Juin pour le type I, avec une orientation NORD du corridor.

- Pour le type I et pour la journée du 21 Juin, le soleil, caractérisé par des altitudes plus élevées comparées à celles des mois précédents, peut atteindre toutes les salles de classe à travers les façades orientées vers le Sud durant la tranche horaire comprise entre 11h : 00 et 14h : 00 offrant ainsi une tache solaire répartit sur une faible surface à l'intérieure des salles (5% de la surface totale).
- Le type IV garde un coefficient d'ombrage de 77% durant toute la durée d'étude. Les altitudes du soleil pour la journée du 21 Juin, ainsi que la conception de ce

type, offre une faible tache solaire dans les salles de la première rangée, réparti sur une surface de 5%. Dans ces salles, la tache solaire est similaire à celle réparti dans les salles de CEM de type I présenté précédemment. Pour les salles de la deuxième rangée, l'ensoleillement est totalement nulle à l'intérieur des salles.

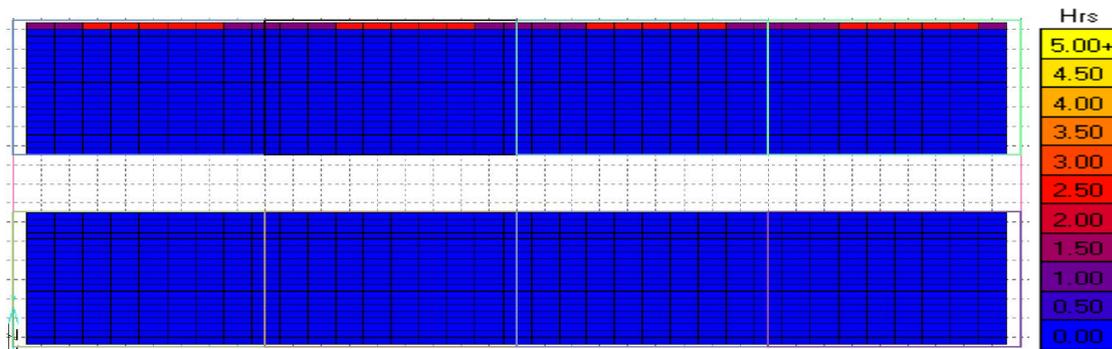


Figure VI.31. Cumul d'ensoleillement entre 8h et 17h du 21 Juin pour le type IV, avec une orientation NORD du corridor.

- Le type II est le type le moins ombré avec un coefficient d'ombrage variant entre 76% et 80%. Les altitudes très élevées du soleil pour la journée du 21 Juin, ne permettent pas au soleil d'atteindre l'intérieure des salles de classe, ce dernier suit une trajectoire placée au dessus des salles de classe. Ces conditions offrent une tache solaire totalement nulle dans toutes les salles de classe de ce type, sauf les salles de la première rangée placées dans le coté gauche, dans la quelles, la tache solaire occupe une surface de 14% à l'intérieure des salles avec une durée de deux heures.

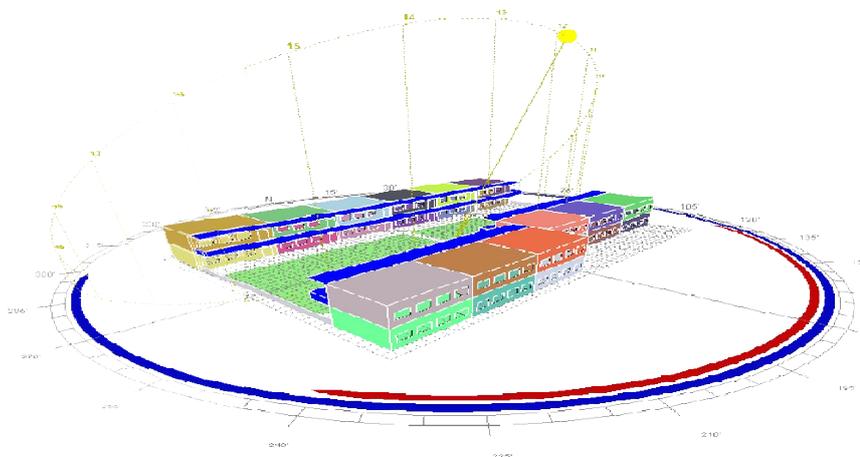


Figure.VI.32. Vue tridimensionnelle du type II orienté vers le Nord ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Juin.

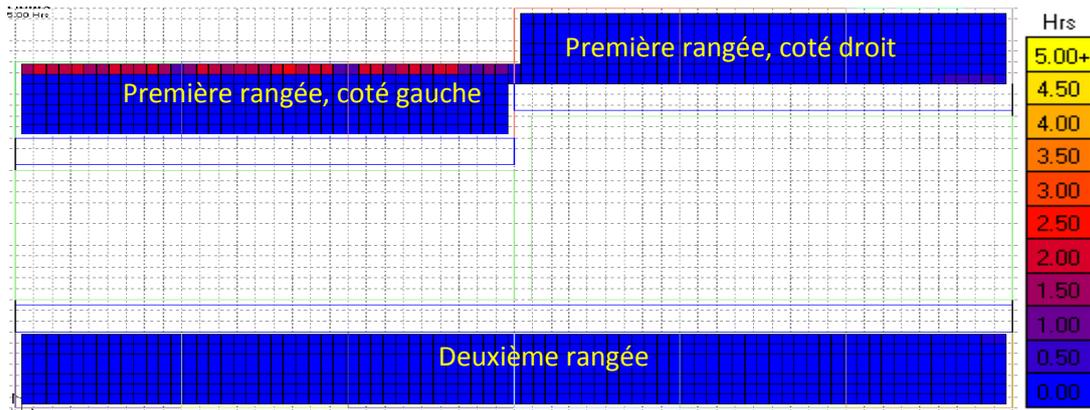


Figure.VI.33. Cumul d'ensoleillement entre 8h et 17h du 21 Juin pour le type II, avec une orientation NORD du corridor.

Le mois de Juin est caractérisé par un ciel très éclairé par rapport à celui des deux mois précédents. Dans ces conditions, le type le plus performant énergétiquement doit avoir un éclairage et un coefficient d'ombrage modéré. Les types de CEM les moins ensoleillés, selon un ordre croissant du coefficient d'ombrage, sont les CEM de type II puis les CEM de type IV suivis par les CEM de type I et enfin les CEM de type III. L'ensemble de ces CEM ne permet pas d'avoir une tache solaire importante aux seins des salles de classe. Cette tache occupe une faible surface à l'intérieure des salles comparée à celle des deux mois précédents. Ceci peut être considéré comme un avantage car en risque pas d'avoir un éblouissement dans l'ensemble des salles de classe des quatre types.

VI.3.1.2. TEMPERATURE INTERIEURE

Pour compléter notre étude, nous avons jugé qu'il est important d'évaluer l'évolution temporelle de la température moyenne à l'intérieure des salles de classe de chaque type de CEM ainsi que la différence de température (T_{dif}) définie par la différence entre la température extérieur (T_{ext}) et la température intérieure des salles (T). Les résultats de simulations ont montrés qu'il existe un écart considérable entre la température extérieure et la température intérieur, créant ainsi un gradient de température. Ce dernier crée un transfert de chaleur par conduction de l'extérieure vers l'intérieure ou de l'intérieure vers l'extérieure selon le mois considéré. Le signe du gradient indique le sens de transfert de chaleur, un gradient positif veut dire que le transfert de chaleur est orienté de l'extérieure vers l'intérieure, un gradient négatif veut dire que le transfert de chaleur est orienté de l'intérieure vers l'extérieure

VI.3.1.2.1. Pour le mois de Décembre

- Le mois de Décembre représenté par la journée du 21, est caractérisé par des basses températures, comparées à celles des mois de mars et de Juin, cette température passe de 10°C à 8 h : 00 à une température maximale de 13,3°C à 15h : 00 on atteignant la température de 12°C à 17h : 00. Les résultats de simulation présentés dans la figure VI.34 ont montré que les températures à l'intérieures des salles de classe des quatre types de CEM sont plus basses à celle de l'extérieure, créant ainsi, des gradients de température positif est par conséquent, le transfert de chaleur par conduction est orienté de l'extérieur vers l'intérieur.

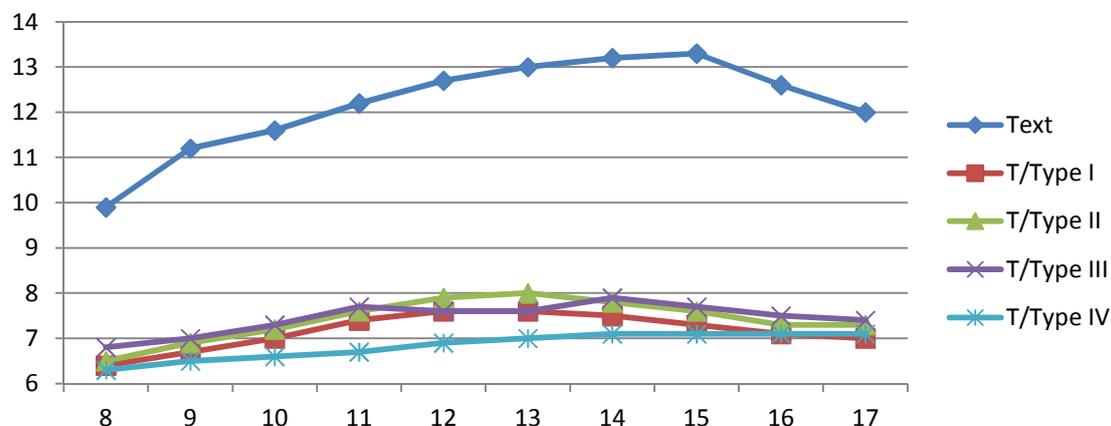


Figure VI.34. Température extérieure et températures intérieures des salles des quatre types de CEM pour la journée du 21 Décembre.

- L'écart maximal entre les températures à l'intérieures des salles des quatre types n'est pas très considérable, il est de l'ordre de 1°C,
- Les températures à l'intérieur des salles ne varient pas d'une manière importante, en effet, l'écart maximale de la température à l'intérieure des salles durant la tranche horaire d'étude (de 8h : 00 à 17h : 00) est minime, il est : de 1,2 °C pour le type I, de 1,5 °C pour le type II, de 1,1 °C pour le type III et enfin de 0,8 °C pour le type IV.
- La valeur maximale de la température extérieure de 13,3 °C est atteinte à 15h :00. A cette heure, les températures à l'intérieure ne sont pas maximales, en effet :
 - o le type I atteint sa température maximale de 7,6°C durant la tranche horaire allant de midi 13h : 00,
 - o le type II atteint sa température maximale de 7,9°C à 12h : 00,
 - o le type III atteint sa température maximale de 7,9°C à 14h : 00,

- le type IV atteint sa température maximale de 7,1 entre 14h : 00 et 17h : 00.
- Selon l'évolution des gradients de température des quatre types des CEM pour la journée du 21 Décembre présentée dans la figure VI.35, on remarque que la valeur maximale du gradient des quatre types de CEM est atteinte à 15h :00, c'est-à-dire à l'heure où la température à l'extérieure est maximale. Selon cette évolution des gradients, on peut classer les quatre types de CEM selon un ordre décroissant du gradient comme suit :
 - Le type IV avec un maximum de 6.2 °C,
 - Le type I avec un maximum de 6°C,
 - Le type II avec un maximum de 5,7 °C,
 - Le type III avec un maximum de 5,6 °C.

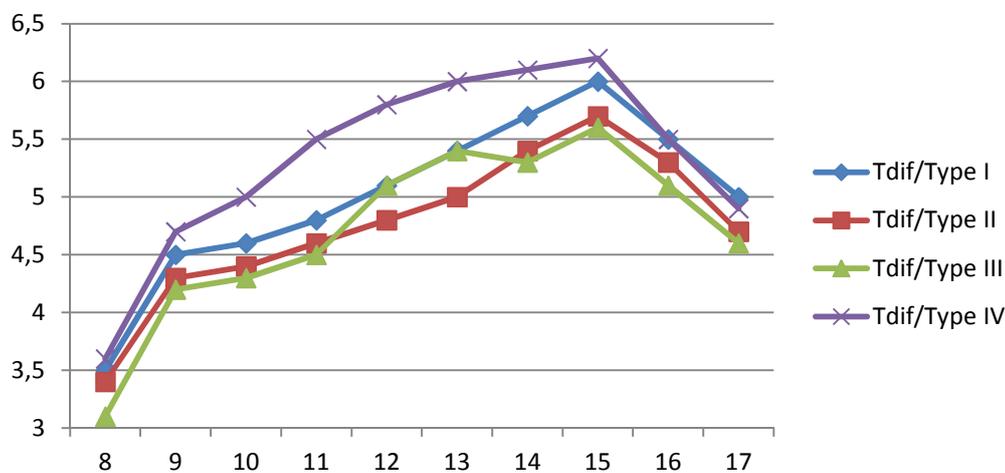


Figure VI.35. Gradients de températures des quatre types de CEM pour la journée du 21 Décembre.

- ***La classification des gradients présentée ci-dessous, permet de dire que les salles des CEM de type IV, sont les salles les plus froides, suivies par les salles des CEM de type I, puis les salles des CEM de type II et enfin les salles des CEM de type III : (Type IV → Type I → Type II → Type III).***

VI.3.1.2.2. Pour le mois de Mars

- Caractérisé par des températures plus élevées par rapport à celles du mois précédent. Pour la journée du 21 Mars, La température extérieure passe de 14,5°C à 18,9°C entre 8h : 00 et 17h :00 en atteignant son maximum de 20,9°C à 15h : 00.

- Selon les résultats des simulations des températures à l'intérieures des salles de chaque type de CEM, présentés dans la figure VI.36, on peut dire que l'écart entre la température extérieure et la température intérieure de chaque type est considérable à celui du mois précédent. les gradients des températures des quatre types sont toujours positifs, cela veut dire que le transfert de chaleur est orienté de l'extérieur vers l'intérieur.

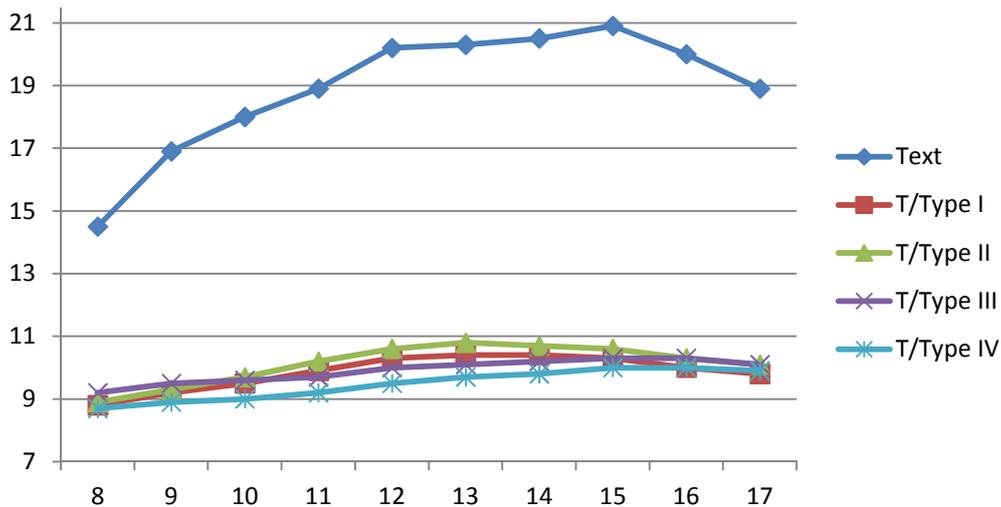


Figure VI.36. Température extérieure pour la journée du 21 Mars et les températures intérieures des salles des quatre types de CEM.

- De même que le mois précédent, Les températures à l'intérieur des salles ne varient pas d'une manière importante. L'écart maximale entre les températures intérieures des salles de chaque type est de : 1,6°C pour le type I, 1,9°C pour le type II, 1,1°C pour le type III et enfin de 1,3°C pour le type IV.
- Pour le mois de Mars, la valeur maximale de la température extérieure de 20,9°C est atteinte à 15h :00. A cette heure les températures à l'intérieure ne sont pas forcément maximales, en effet :
 - o le type I atteint sa température maximale de 10,4°C entre 13h : 00 à 14h : 00,
 - o le type II atteint sa température maximale de 10,8°C à 13h : 00,
 - o le type III atteint sa température maximale de 10,3°C entre 15 h : 00 et 16h : 00,
 - o le type IV atteint sa température maximale de 10°C entre 15h : 00 et 16h : 00.

- Pour le mois considéré, les températures à l'intérieures sont plus importantes par rapport à celles du moi de Décembre.
- Selon les gradients des températures des quatre types de CEM pour la journée du 21 Mars, présentés dans la figure VI.37, on constate que le maximum des températures est atteint à 15h : 00, c'est-à-dire à l'heure où la température extérieure est maximale. Pour ce mois, les quatre types sont classés selon un ordre décroissant du gradient, comme suit :
 - o Le type IV avec un maximum de 10,9 °C,
 - o Le type III avec un maximum de 10,6 °C,
 - o Le type I avec un maximum de 10,6 °C,
 - o Le type II avec un maximum de 10,3°C,

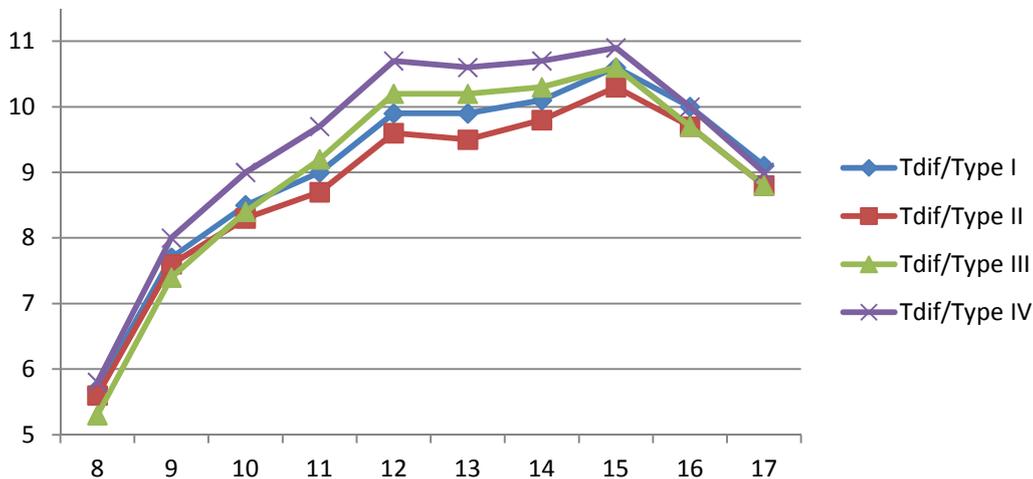


Figure VI.37. Gradients de températures des quatre types de CEM pour la journée du 21 Mars.

- *Selon cette classification, on peut dire que les salles des CEM de type IV, sont les salles les plus froides, suivies par les salles des CEM de type III, puis les salles des CEM de type I et enfin les salles des CEM de type II.*

VI.3.1.2.3. Pour le mois de Juin

- Caractérisé par des températures très élevées comparées à celles des deux mois précédents. Cette température varie entre 33,2°C et 38,2°C durant la tranche horaire d'étude, en atteignant son maximum de 42,2°C à 14h : 00. Dans ces conditions, il est

normale que les températures à l'intérieures des salles soient plus importantes par rapport à celles des deux mois précédents.

- Selon les résultats des simulations des températures à l'intérieure des salles de chaque type présentées dans la figure VI.38, on constate que l'évolution des températures à l'intérieures des salles, durant la matinée, diffère à celles des deux mois précédents, en effet, la température à l'intérieure des salles des quatre types dépasse celles de l'extérieures pendant la tranche horaire allant de 8h :00 à 11h : 00 alors que les températures à l'intérieures des salles pour les mois précédents ne dépasse jamais celles de l'extérieures. A partir de 11h : 00, les températures intérieures des quatre types sont inférieures à celles de l'extérieures.
- De même que les deux mois précédents, Les températures à l'intérieures des salles ne varient pas d'une manière importante, l'écart maximale entre les valeurs de la température à l'intérieure des salles de chaque type durant la tranche horaire d'étude est de : 1°C pour le type I, 1,1°C pour le type II, 1,2°C pour le type III et enfin il est de 1,3°C pour le type IV.
- l'écart entre la température extérieure et la température à l'intérieure de chaque type est moins important par rapport à celui du mois de Mars.
- Le signe du gradient de température définit toujours par la différence entre la température extérieure et la température intérieure, pour le mois considéré diffère à celui des mois précédents, la où le signe du gradient est toujours positif. Il est négatif pendant la tranche horaire allant de 8h : 00 à 11h : 00 et même à 17h : 00, dans cette période, on peut dire alors que le transfert de chaleur par conduction est orienté de l'intérieure vers l'extérieure. il devient positif entre 11h :00 et 16h : 00 la où le transfert de chaleur par conduction est orienté de l'extérieure vers l'intérieure.
- Pour le mois considéré, la valeur maximale de la température extérieure de 42,2 °C est atteinte à 14h :00. A cette heure, les températures intérieures sont maximales, elle est de :
 - o 38,8 °C pour le type I,
 - o 39,2 °C pour le type II,
 - o 39 ,3 °C pour le type III,
 - o 38,8°C pour le type IV.
- Selon l'évolution de la température à l'intérieure des salles présentée dans la figure VI.38, on peut classés les quatre types de CEM selon un ordre décroissant comme suit :
 - o Le type III avec un maximum de 39 ,3 °C,

- Le type II avec un maximum de 39,2 °C,
 - Le type I avec un maximum de 38,8 °C,
 - le type IV avec un maximum de 38,8 °C.
- *Selon cette classification, on peut dire que les salles des CEM du type IV, sont les salles les plus froides, suivies par les salles des CEM de type I, puis les salles des CEM de type II et enfin les salles de type III.*

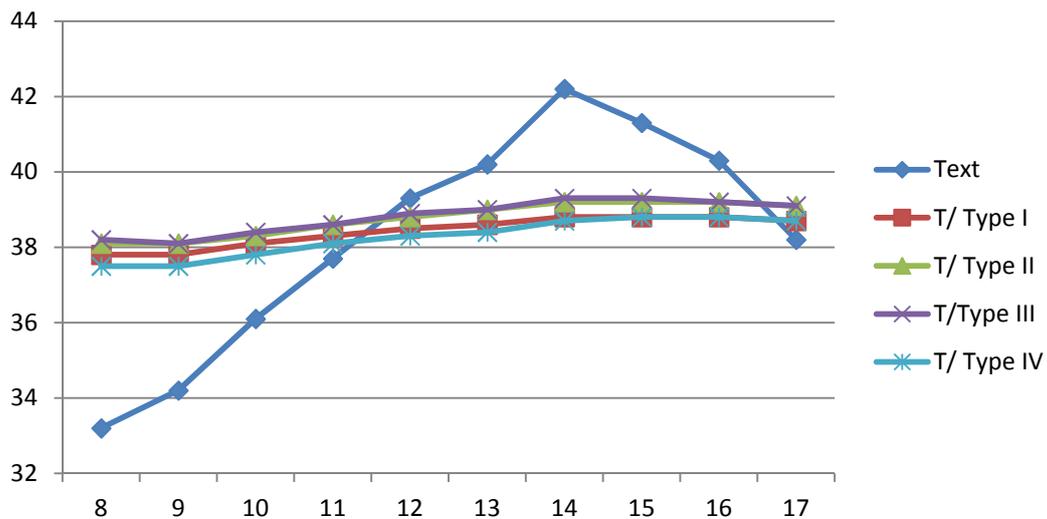


Figure VI.38. Température à l’extérieur pour la journée du 21 Juin et les températures à l’intérieure des salles des quatre types de CEM.

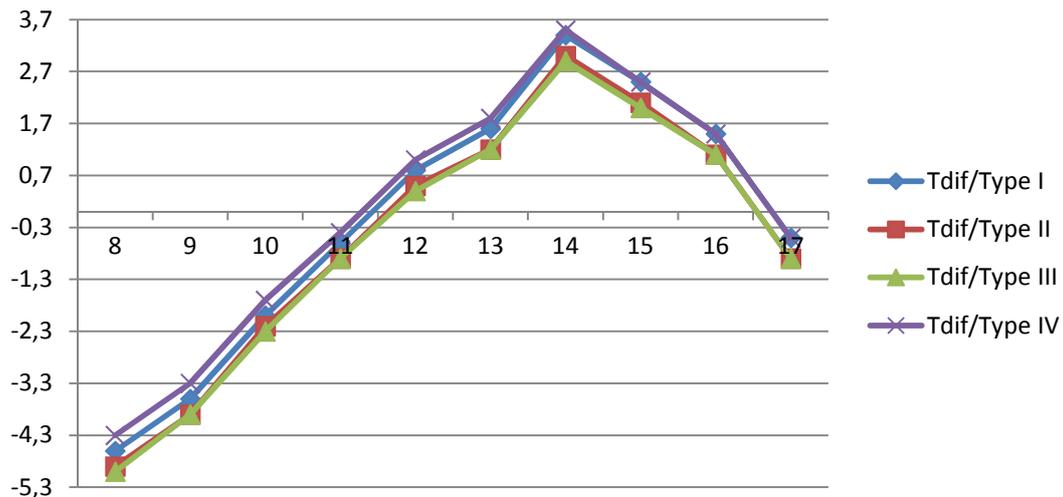


Figure VI.39. Gradients des températures des quatre types de CEM pour la journée du 21 Juin.

VI.3.1.3. FACTEUR DE LUMIERE DU JOUR (FLJ)

En éclairage naturel, l'exigence d'éclairément peut se traduire en valeur de "facteur de lumière du jour" (FLJ). Ce facteur est le rapport de l'éclairément naturel intérieur reçu en un point (généralement le plan de travail ou le niveau du sol) à l'éclairément extérieur simultané sur une surface horizontale, en site parfaitement dégagé, par ciel couvert. Il s'exprime en %. Le tableau.VI.1. résume l'emplacement de la zone considérée, impression de clarté, impression visuelle du local et enfin l'ambiance en fonction des valeurs du FLJ.

Un objectif raisonnable est d'arriver à un temps d'utilisation de l'éclairage naturel d'au moins de 60 %. Ceci entraîne un facteur de lumière du jour de 2,5 (exigence de 300 lux) à 4 % (exigence de 500 lux) dans les locaux de vie, et de 1,5 % dans les circulations et sanitaires (exigence de 100 lux).

Nous présentons dans cette partie les résultats de simulation du FLJ des quatre types de CEM étudiés. Dans ces simulations, nous avons supposé que le ciel est dans un état couvert, cela est dû à la limitation du logiciel utilisé (ECOTECH), qui ne peut prendre en compte que cet état du ciel. Dans ce cas, les FLJ sont indépendants de l'orientation des baies vitrées, de la saison et de l'heure du jour.

Tableau VI.1. L'emplacement de la zone considérée, impression de clarté, impression visuelle du local et enfin ambiance en fonction du facteur de lumière du jour.

FLJ	- de 1 %	1 à 2 %	2 à 4 %	4 à 7 %	7 à 12 %	+ de 12 %
	Très faible	Faible	Modéré	Moyen	Elevé	Très élevé
Zone considérée	Zone éloignée des fenêtres (distance environ 3 à 4 fois la hauteur de la fenêtre)			A proximité des fenêtres ou sous des lanternes		
Impression de clarté	Sombre à peu éclairé		Peu éclairé à clair		Clair à très clair	
Impression visuelle du local	Cette zone semble être séparée de cette zone					
Ambiance	Le local semble être refermé sur lui-même			Le local s'ouvre vers l'extérieur		

Pour les quatre types de CEM, nous avons obtenue les résultats suivants :

VI.3.1.3.1. Le FLJ pour le type I

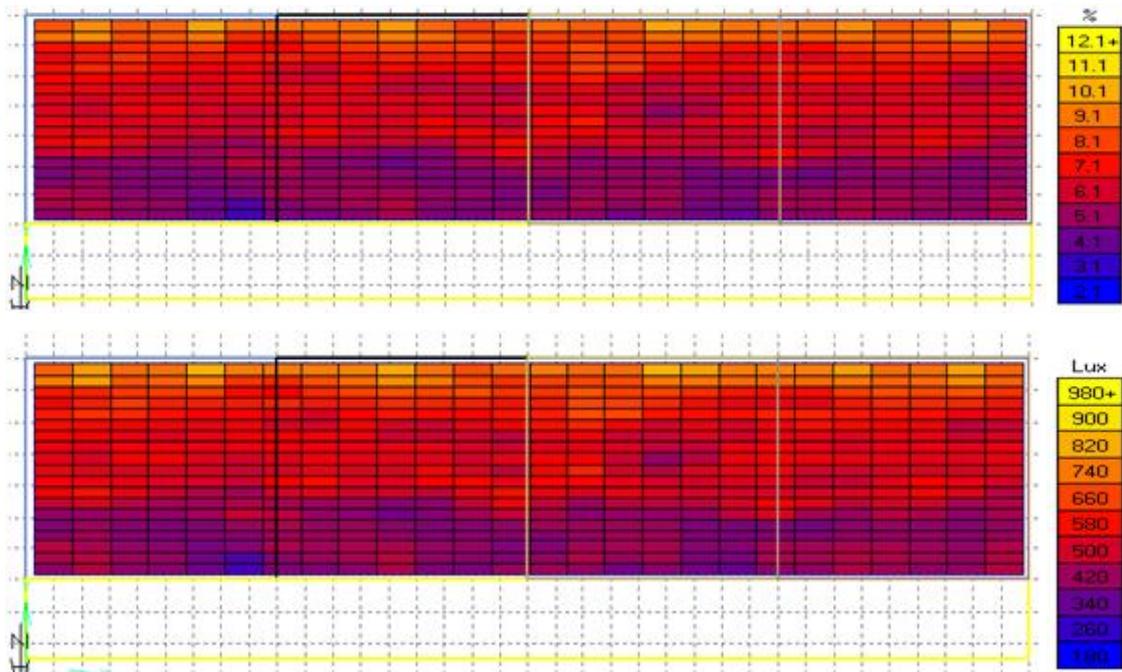


Figure VI.40. Répartition du facteur de lumière du jour (FLJ) dans les salles de classe de type I en (%) et en (Lux) respectivement.

- Pour le type I, le FLJ est réparti d'une manière presque similaire d'une salle à une autre. Considéré comme élevé, avec les valeurs de 7% à 12% soit de 580 Lux à 980 Lux, dans la zone proche des façades n'ayant pas de corridor et comme modéré, dans la zone proche des façades dotés de corridor où le FLJ varié entre 2% et 5% soit 180 Lux et 420 Lux. Au centre des salles de classe, le FLJ est considéré comme moyen avec des valeurs variant entre 4% et 7% soit entre 380 Lux et 580 Lux.

VI.3.1.3.2. le FLJ pour le type II

- Pour ce type, le FLJ est considéré comme moyen dans la zone voisine aux façades n'ayants pas de corridor et qui varie entre 4.8% et 8.8% soit entre 460Lux et 900 Lux. De même, la zone proche des façades ayant de corridor, le FLJ qui varie entre 4.8% et 6.8% soit entre 460 Lux et 680 Lux est considéré comme moyen, sauf sur une surfaces à l'intérieure des salles de classe de la première rangée où le FLJ est très élevé avec des valeurs comprises entre 12.8 % et 14.8% soit ente 1340 Lux et 1780 Lux. Pour la zone

située au centre des salles, le FLJ est moyen avec des valeurs comprises entre 4.8% et 6,8% soit entre 460 Lux et 680 Lux.

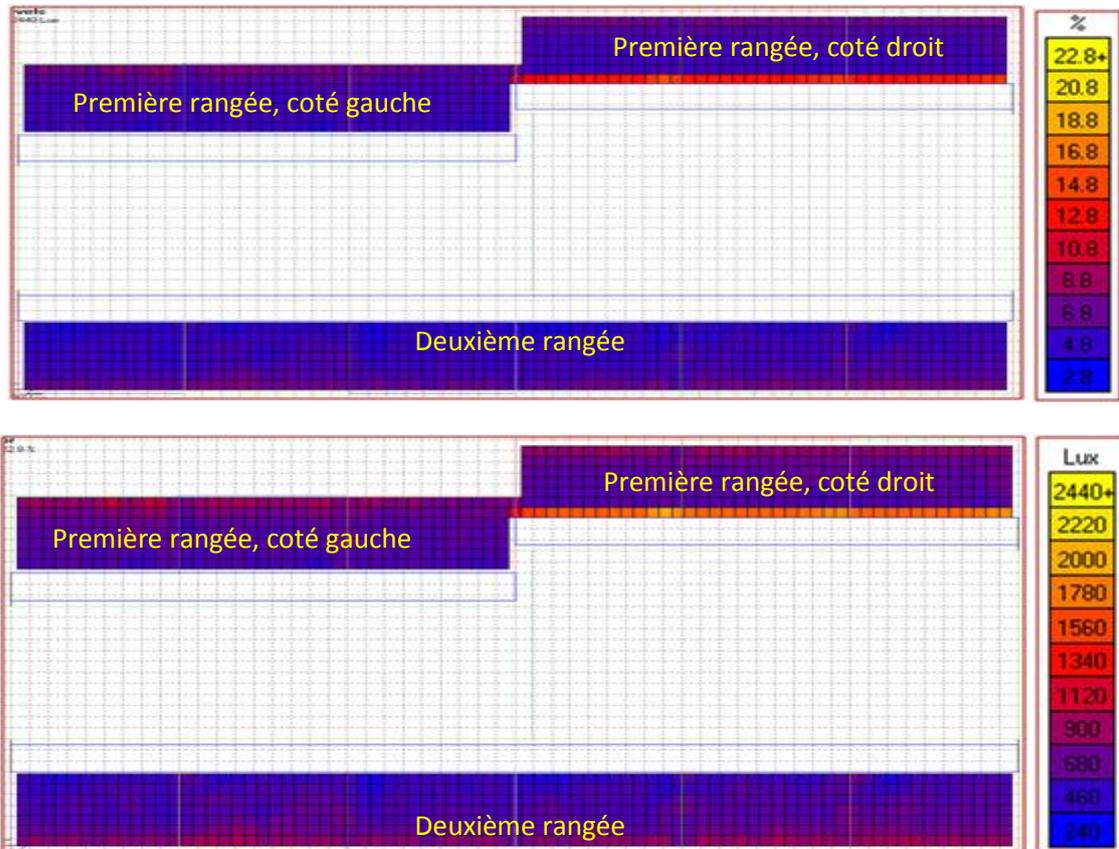


Figure VI.41. Répartition du facteur de lumière du jour (FLJ) dans les salles de classe de type II en (%) et en (Lux) respectivement.

VI.3.1.3.3. Le FLJ pour le type III

- Pour ce type de CEM, le FLJ diffère d'une salle à une autre, il est élevé dans les trois salles supérieures placées dans le côté gauche avec des valeurs variant entre 6,8% et 10.8% soit entre 514 Lux et 874 Lux.
- Pour la salle supérieure placée dans le côté droit, le FLJ est élevé dans la zone voisine à la façade n'ayant pas de corridor avec des valeurs variant entre 6,8% et 8,8% soit entre 514 Lux et 694 Lux, dans le reste de la surface, le FLJ est modéré avec des valeurs comprises entre 2.8% et 4,8% soit 244 Lux et 424 Lux.
- Concernant les trois salles centrales, le FLJ est modéré avec des valeurs comprises entre 2,8% et 4,8% soit entre 244 Lux et 334 Lux. Seule une salle centrale, où le FLJ est considéré comme moyen et dans les valeurs variées entre 4.8% et 6,8% soit entre 334 Lux et 460 Lux.

514Lux. Le FLJ est élevé dans les salles inférieures avec des valeurs comprises entre 6,8% et 10,8% soit entre 514Lux et 874 Lux.

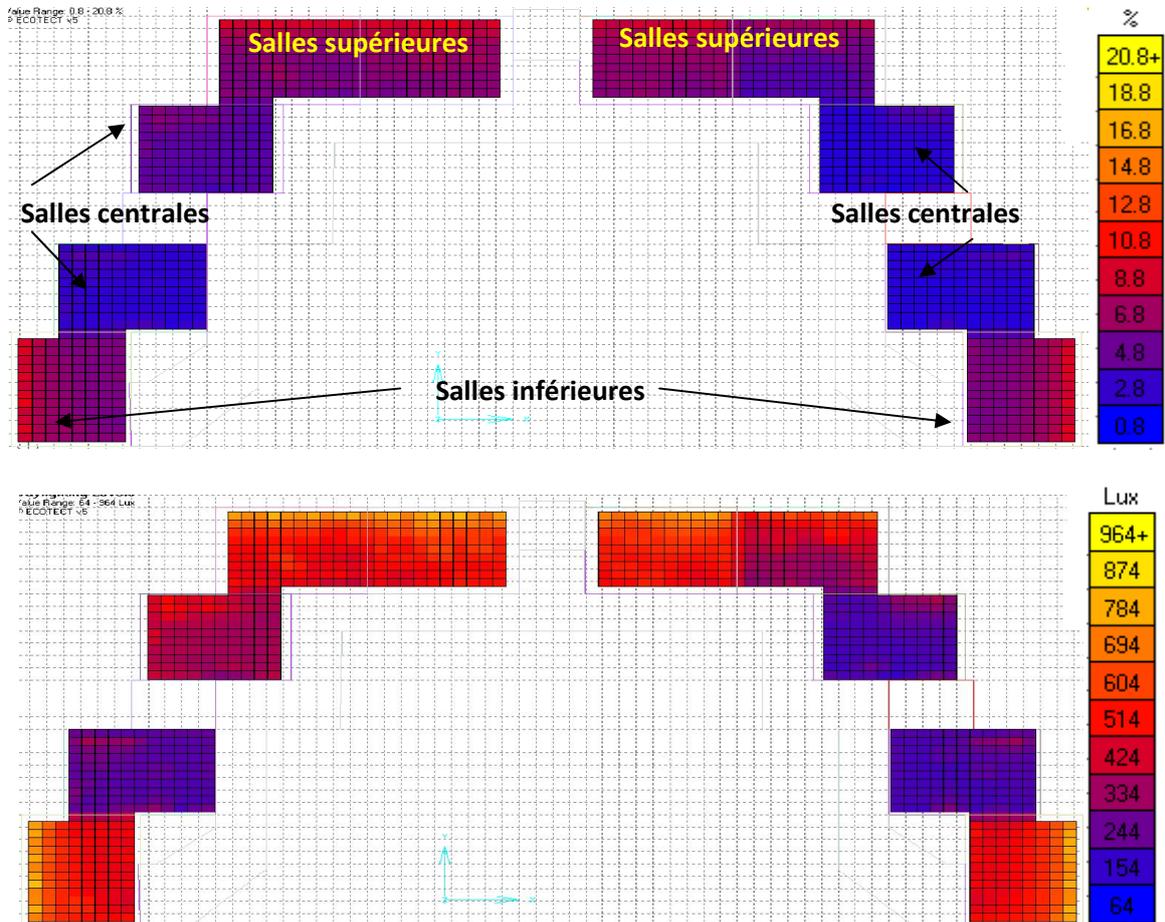


Figure VI.42. Répartition du facteur de lumière du jour (FLJ) dans les salles de classe de type III en (%) et en (Lux) respectivement.

VI.3.1.3.4. Le FLJ pour le type IV

- Le FLJ ayant des valeurs moyennes dans la zone voisine aux façades qui donnent sur la cour, dont les valeurs variées entre 3,2% et 7,2% soit entre 370 Lux et 550 Lux. Pour la zone voisine aux autres façades, le FLJ est élevé avec des valeurs variant entre 7,2% et 11,2% soit entre 550 Lux et 820 Lux. Pour la zone centrale des salles, le FLJ est considéré comme moyen avec des valeurs variant entre 3,2% et 7,2% soit entre 460 Lux et 640 Lux.

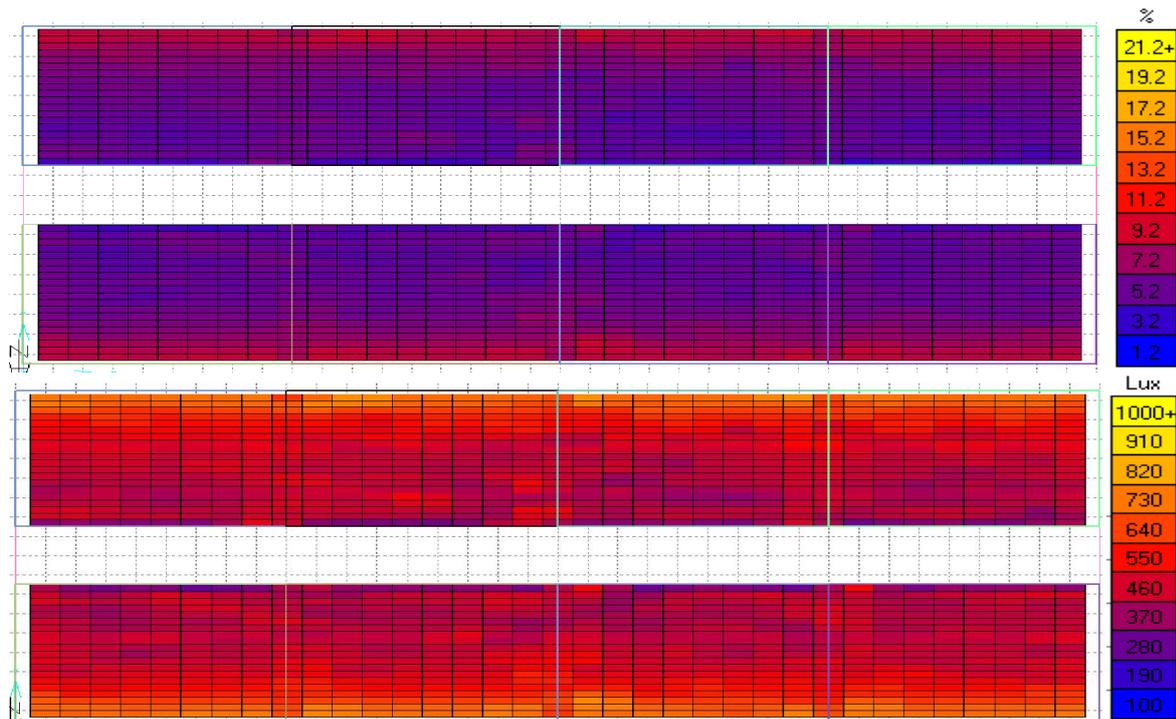


Figure VI.43. Répartition du facteur de lumière du jour (FLJ) dans les salles de classe de type IV en (%) et en (Lux) respectivement.

VI.3.1.4. SYNTHÈSE DES RESULTATS DES SIMULATIONS

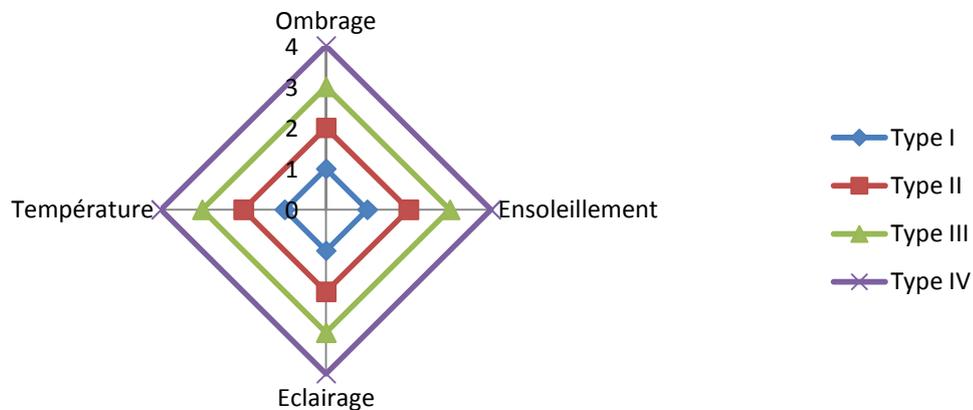
Dans le but de déterminer le type de CEM le plus performant énergétiquement selon les quatre orientations étudiées (Nord, Sud, Est et Ouest), nous avons résumés les résultats des simulations obtenues et présentés précédemment, sous forme de diagramme radar, dans lequel en même temps une étude comparative entre les quatre types de CEM par rapport à leurs paramètres qui traduisent leurs performances énergétiques durant les trois mois de référence.

La classification des quatre paramètres de chaque type de CEM est basée sur la comparaison entre les paramètres des autres types pour chaque mois de référence.

Pour la classification de l'éclairage, on se base sur la répartition de la surface ayant un éclairage optimal (les surfaces avec un éclairage autour de 500 Lux).

Chaque diagramme présenté ci-dessous comporte quatre zones. Chaque zone traduit le classement de chaque paramètre de chaque type de CEM par rapport aux autres paramètres des autres types durant le même mois de référence. Le tableau ci-dessous résume les zones présentes dans chaque graphe ainsi que la classification des quatre paramètres présentés dans chaque zone :

Paramètres \ Zone considérée	ombrage	ensoleillement	Température intérieure	zone d'éclairage optimal
de : 0-1	faible	faible	faible	faible
de : 1-2	modéré	modéré	modéré	modéré
de : 2-3	élevé	élevé	élevé	élevé
de : 3-4	Très élevé	Très élevé	Très élevé	Très élevé



Le type de CEM le plus performant énergétiquement est défini à partir de son diagramme qui doit être le plus proche au diagramme optimal. La forme du diagramme optimal dépend du mois dans le quelle on mène notre étude, en effet :

Pour le mois de Décembre :

Le mois de Décembre caractérisé par des températures très basses ainsi qu'un ciel couvert. Dans ces conditions, le type le plus performant énergétiquement doit avoir les températures les plus élevées et un éclairage optimal réparti sur une grande surface. On tient à rappélé que l'étude est basée sur la comparaison des paramètres des quatre type durant chaque mois de référence. Selon les résultats des simulations présentés précédemment, les températures à l'intérieures des salles ne dépasse jamais celles de l'extérieures, dans ces conditions, il est préférable d'avoir des températures intérieures les plus élevée, afin d'assurer un échauffement un peut plus élever aux seins des salles de classe. Pour les autres paramètres, ils doivent avoir un taux moyen. Dans ces conditions, la forme du diagramme optimal est celle présentée dans la figure ci-dessous :

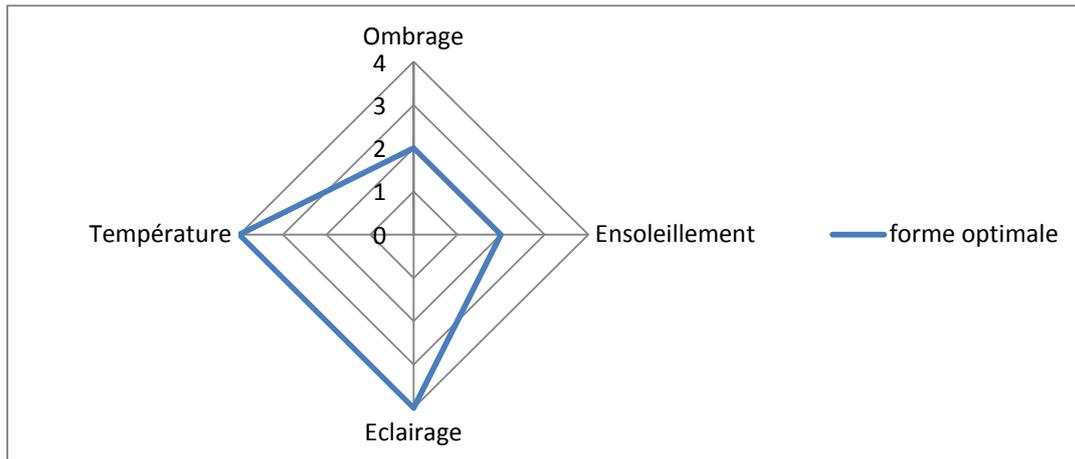


Figure.VI.44. La forme du diagramme optimal pour le mois de Décembre.

Pour le mois de Mars :

Le mois de Mars caractérisé par des températures plus confortables par rapport à celles du mois précédent et un ciel plus éclairé. Dans ces conditions, le type le plus performant énergétiquement doit avoir les températures les plus élevées et un éclairage optimal réparti sur la plus grande surface.

Les températures doivent être les plus élevées car selon les résultats des simulations pour le mois de Mars, présentés précédemment, les températures à l'intérieures des salles ne dépassent jamais celles de l'extérieures. Pour les autres paramètres, ils doivent avoir un taux moyen. Dans ces conditions, la forme du diagramme optimal est celle présentée dans la figure ci-dessous :

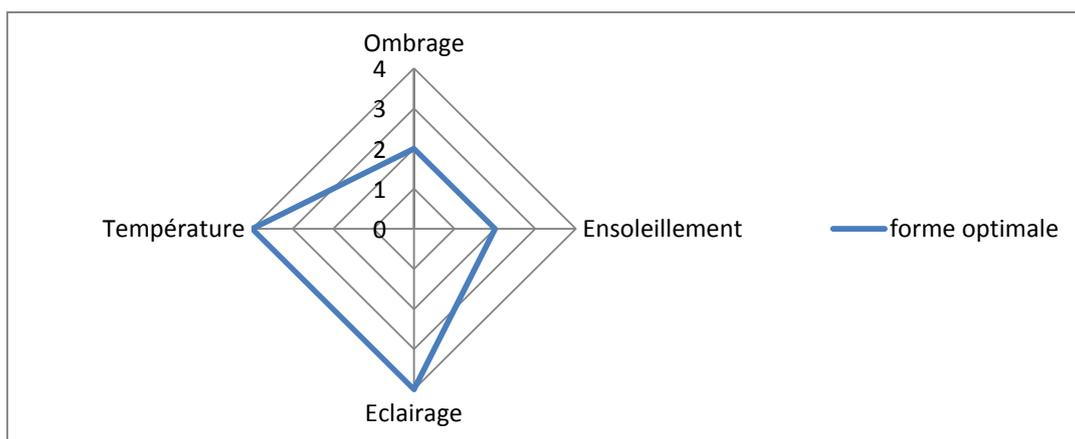


Figure.VI.45. La forme du diagramme optimal pour le mois de Mars.

Pour le mois de Juin :

Le mois de Juin caractérisé par des températures très élevées par rapport à celles des deux mois précédents et un ciel éclairé. Dans ces conditions, le type le plus performant énergétiquement doit avoir les températures les moins élevées et un éclairage moyen.

Les températures doivent être les moins élevées car selon les résultats des simulations pour le mois considéré, les températures intérieures sont très élevés, dans ce cas, le type le plus performant énergétiquement est le type ayant les températures les plus basses avec une tache solaire moins importante. Pour l'ombrage, il doit avoir un taux moyen. Dans ces conditions, la forme du diagramme optimal est celle présentée dans la figure ci-dessous :

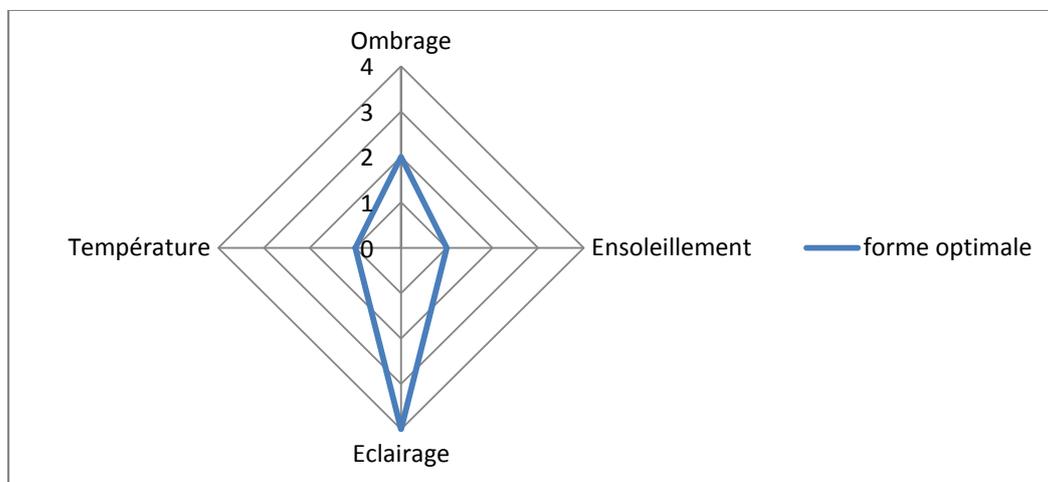


Figure.VI.46. La forme du diagramme optimal pour le mois de Juin.

En comparant les diagrammes qui traduisent le classement des paramètres des quatre types de CEM avec les diagrammes optimaux présentés ci-dessus, pour chaque mois et pour chaque orientation, on peut déduire le type le plus performant énergétiquement selon chaque orientation.

VI.3.1.5. SYNTHÈSE DES RESULTATS DES SIMULATIONS SELON L'ORIENTATION NORD

Pour le mois de Décembre :

En comparant les quatre diagrammes des quatre type de CEM avec le diagramme optimal, pour le mois de Décembre, on peut dire que le diagramme de CEM de type II est le diagramme le plus proche à celui du diagramme optimal avec deux paramètres identiques (ombrage et éclairage) et deux paramètres voisins (température et ensoleillement).

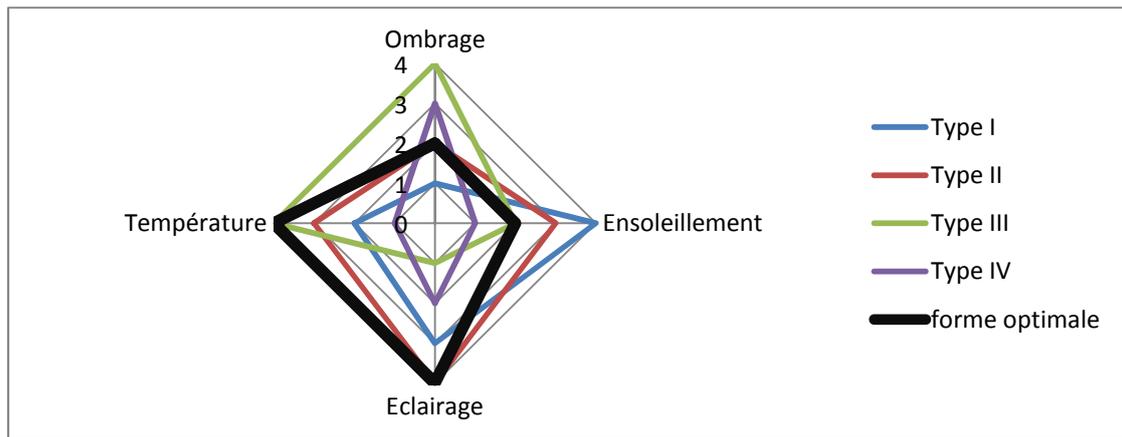


Figure. VI.47. Diagrammes radar des paramètres des quatre types de CEM, ainsi que le diagramme optimal, pour le mois de Décembre.

Pour le mois de Décembre et pour l'orientation Nord, on peut conclure que les CEM de type II sont les CEM les plus performant énergétiquement.

Pour le mois de Mars :

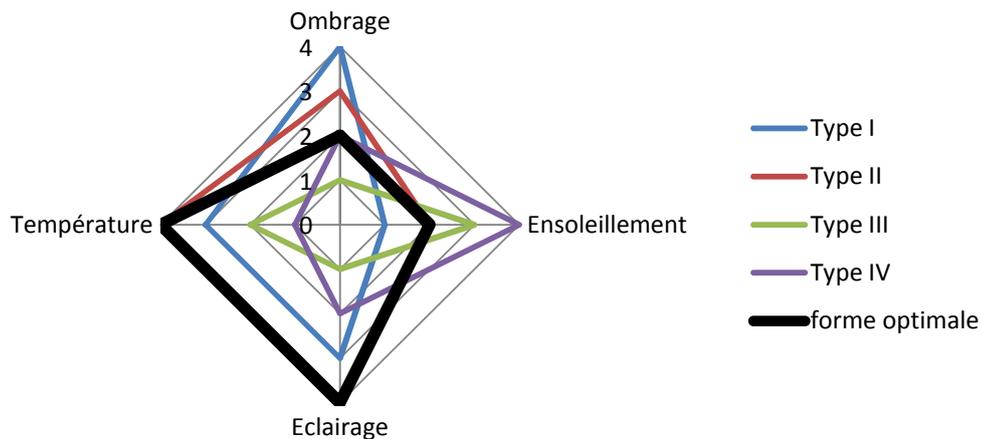


Figure. VI.48. Diagrammes radar des paramètres des quatre types de CEM, ainsi que le diagramme optimal, pour le mois de Mars.

En comparant les quatre diagrammes des quatre type de CEM avec le diagramme optimal, pour le mois de Mars, on peut dire que le diagramme de CEM de type II est le diagramme le plus proche à celui du diagramme optimal, cette fois-ci avec trois paramètres identiques (température, ensoleillement et éclairage) et un seul paramètre voisin (ombrage).

Pour le mois de Mars et pour l'orientation Nord, on peut conclure que les CEM de type II sont les CEM les plus performant énergétiquement.

Pour le mois de Juin :

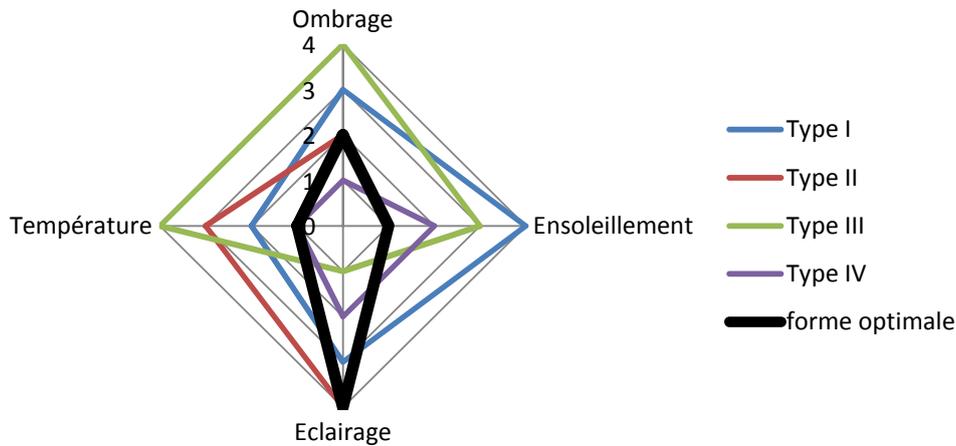


Figure. VI.49. Diagrammes radar des paramètres des quatre types de CEM, ainsi que le diagramme optimal, pour le mois de Juin.

En comparant les quatre diagrammes des quatre type de CEM avec le diagramme optimal, pour le mois de Juin, on peut dire, même pour ce mois, que le diagramme de CEM de type II est le diagramme le plus proche à celui du diagramme optimal, avec trois paramètres identiques (ombrage, ensoleillement et éclairage) et un seul paramètre voisin (température).

Pour le mois de Juin et pour l'orientation Nord, on peut conclure que les CEM de type II sont les CEM les plus performant énergétiquement.

Nous concluons ainsi, que les CEM de type II sont les CEM les plus performants énergétiquement selon l'orientation Nord.

VI.3.2. POUR L'ORIENTATION SUD

Nous présentons dans cette partie, les résultats des simulations du coefficient d'ombrage, du cumul d'ensoleillement et de l'évolution temporelle de la température moyenne au sein des salles de classe dans les quatre types de CEM selon l'orientation Sud (S), durant les trois mois de références, Décembre, Mars et Juin, représentés par la journée du 21 de chaque mois.

VI.3.2.1. OMBRAGE ET ENSOLEILLEMENT

VI.3.2.1.1. Pour le mois de décembre

Le mois de décembre représenté par la journée du 21. Cette journée connue pour être la plus courte de l'année avec les plus basses hauteurs du soleil n'excédant jamais le maximum des 32° à midi. Dans ces conditions et par comparaison des résultats des simulations du coefficient d'ombrage des quatre types de CEM présentés dans la figure VI.50, on peut conclure que :

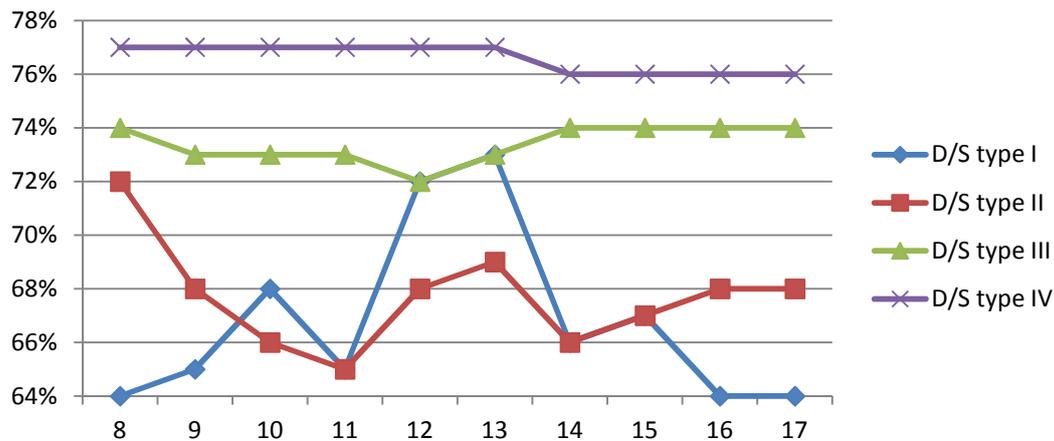


Figure VI.50. Coefficients d'ombrages des quatre types de CEM durant le mois de décembre selon l'orientation Sud.

- Durant le mois de Décembre et pour l'orientation Sud, le type IV est le type le plus performant en terme d'ombrage avec un coefficient d'ombrage quasiment constant durant toute la journée, il est de 77% durant la tranche horaire allant de 8h : 00 à 14h : 00 et de 76 % à partir de 14 h : 00.
- Selon la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Décembre ainsi que la conception des CEM de type IV présentées dans la figure VI.51, on peut dire que seule la façade en orientation Sud est ont exposition au soleil durant toute la journée. Quant à celle orientée vers le Nord, elle est totalement occultée. L'altitude et l'angle que fait le soleil par rapport à cette disposition, favorise l'ensoleillement de l'intérieur des salles de classe de la façade en exposition. L'ensoleillement est presque constant durant toute la durée d'étude, offrant ainsi un coefficient d'ombrage quasiment constant (de 76% à 77%).

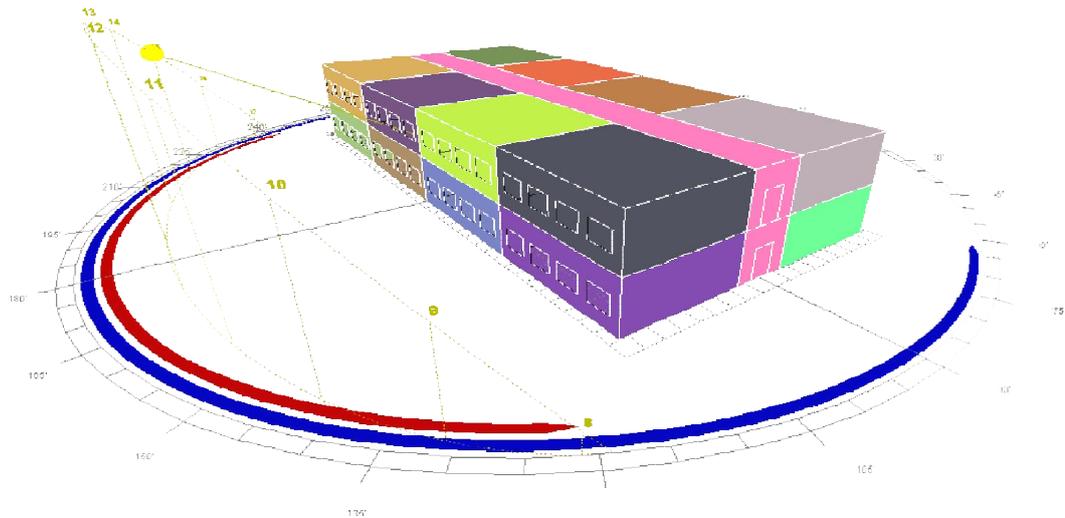


Figure.VI.51. Vue tridimensionnelle du type IV orienté vers le Sud ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Décembre.

- Pour la journée du 21 Décembre, le soleil peut atteindre les salles de classe de la première rangée à travers leurs façades orientées vers le Sud. Ceci offre une tache solaire réparti d'une manière similaire, d'une salle à une autre et sur une surface de 45%. La tache solaire produite se concentre près des façades en exposition directe avec le soleil, dont la durée maximale est de cinq heures.
- Pour les salles de la deuxième rangée, c'est-à-dire les salles ayant les façades dont l'orientation est vers le Nord, le soleil ne peut pas les atteindre durant toute la journée, Cela est dû à la présence du corridor entre les deux rangées ainsi que l'effet d'occultation provoqué par les salles de la première rangée.

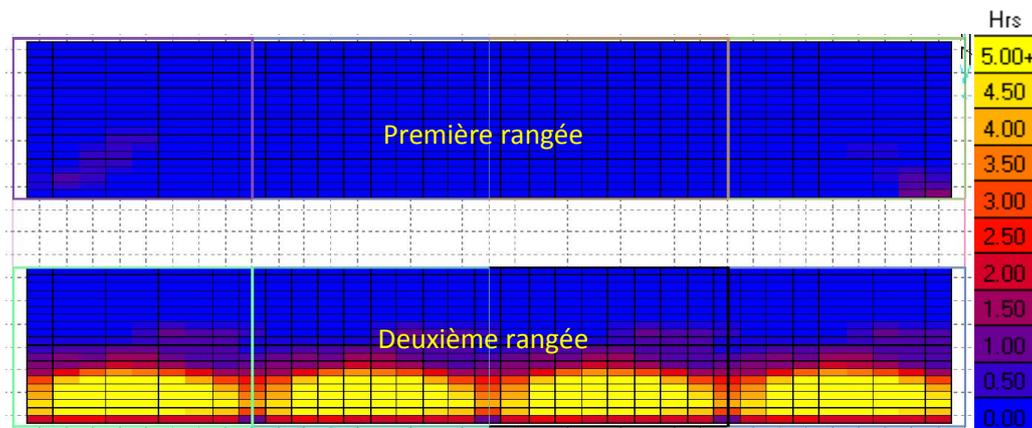


Figure VI.52. Le cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Décembre pour le type IV, avec une orientation SUD du corridor.

- le type III est le type le plus ombragé par rapport aux types : I et II. Son coefficient d'ombrage varie entre 72% et 74% durant la tranche horaire allant de 8h : 00 à 14h : 00. Il garde son maximum de 74% à partir de 14h : 00.
- Selon la trajectoire du soleil pour la journée considérée ainsi que la conception des CEM des type III présentées dans la Figure VI. 53, on constate que le soleil touche les façades dotées de corridor est dans l'orientation est vers le Sud. Dans ces conditions et malgré les faibles altitudes du soleil durant le mois considéré, l'ensoleillement ne peut pas pénétrer à l'intérieur de toutes les salles à travers les façades en expositions. La tache solaire se concentre à l'intérieur des salles près des fenêtres orientées vers le Nord avec une durée maximale de deux heures. La tache solaire occupe une surface de 25% à l'intérieur d'une seule salle située vers le SUD-OUEST. Dans cette salle, la durée maximale de l'ensoleillement est la plus importante avec une durée maximale de quatre heures.

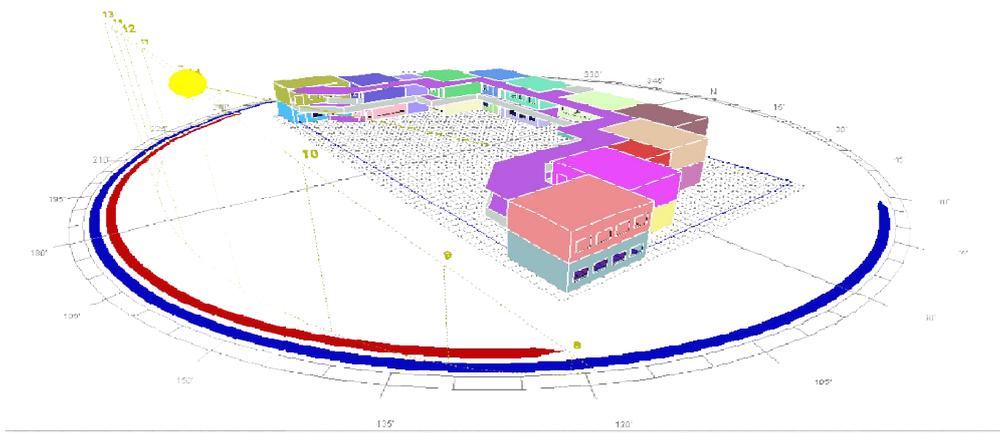


Figure.VI.53. Vue tridimensionnelle du type III orienté vers le Sud ainsi que la trajectoire du soleil pour le 21 Décembre.

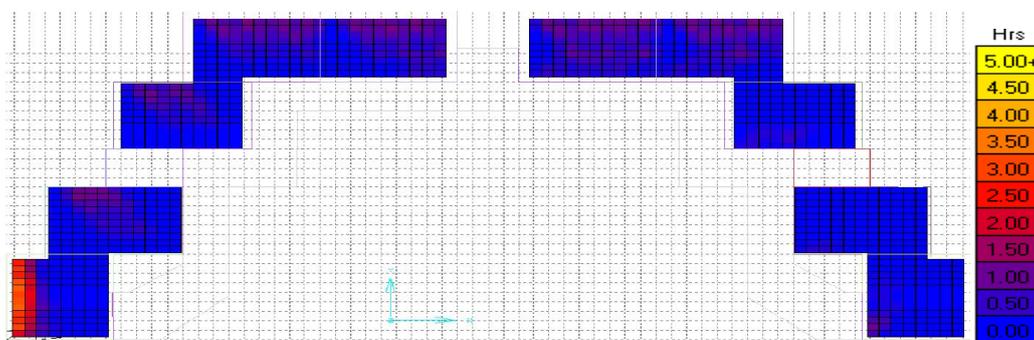


Figure.VI.54. Cumul d'ensoleillement (8h :00 à 17h :00) du 21 Décembre avec une orientation SUD du corridor.

- Le coefficient d'ombrage dans les salles des CEM de type II atteint sa valeur maximale de 72% à 8h : 00, il diminue pour atteindre sa valeur minimale de 65% à 11h : 00. Ce dernier, varie entre 65% et 68% durant la tranche horaire allant de 11h : 00 à 17h : 00.
- Selon la trajectoire du soleil du mois de Décembre ainsi que l'orientation des salles considérées et présentées dans la figure VI.55, on constate que l'enseillement peut atteindre en profondeur les salles de classe à travers les façades on orientation Sud (les façades en exposition), offrant ainsi, une meilleure répartition de l'enseillement avec une tache solaire plus importante répartit sur une surface de 75 % à l'intérieure des salles avec une durée maximale de 9h : 00. L'enseillement ne peut pas atteindre les façades en orientation Nord.

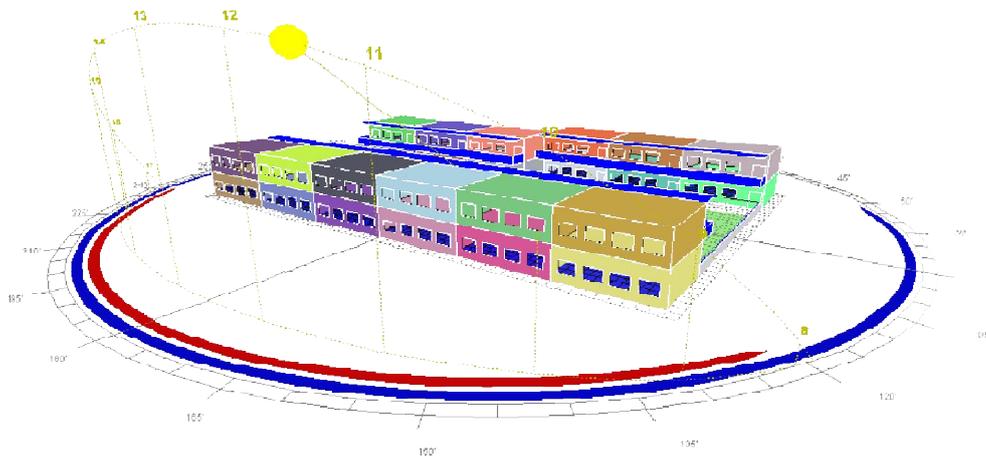


Figure.VI.55. Vue tridimensionnelle du type III orienté vers le Sud ainsi que la trajectoire du soleil pour le 21 Décembre.

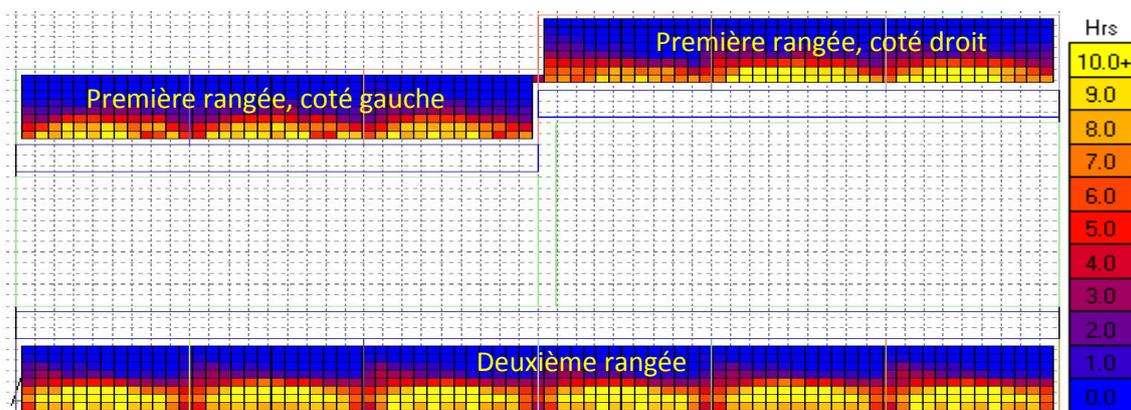


Figure.VI.56. Cumul d'enseillement (8h :00 à 17h :00) du 21 Décembre avec une orientation SUD du corridor.

- Les salles des CEM de type I sont les moins ombrés durant la tranche horaire allant de 8h : 00 à 11h : 00 avec un coefficient d'ombrage qui varie entre 64 % et 68 %, il croît entre 11h : 00 et 14h : 00 en atteignant sa valeur maximale de 73 % à 14h : 00. Le coefficient d'ombrage est minime entre 15 h 00 et 17h : 00 avec des valeurs comprises entre 64% et 67%.
- Pour ce type de CEM, l'enseillement pénètre à l'intérieure des salles à travers les façades on orientation Sud (les façades en exposition). L'enseillement ne peut pas pénétrer à travers les façades des salles en orientation Nord
- Dans ce type de CEM, la répartition de la tache solaire à l'intérieure des salles est similaire d'une salle à une autre, elle se rangée sur une surface de 40% avec une durée qui peut atteindre les cinq heures.

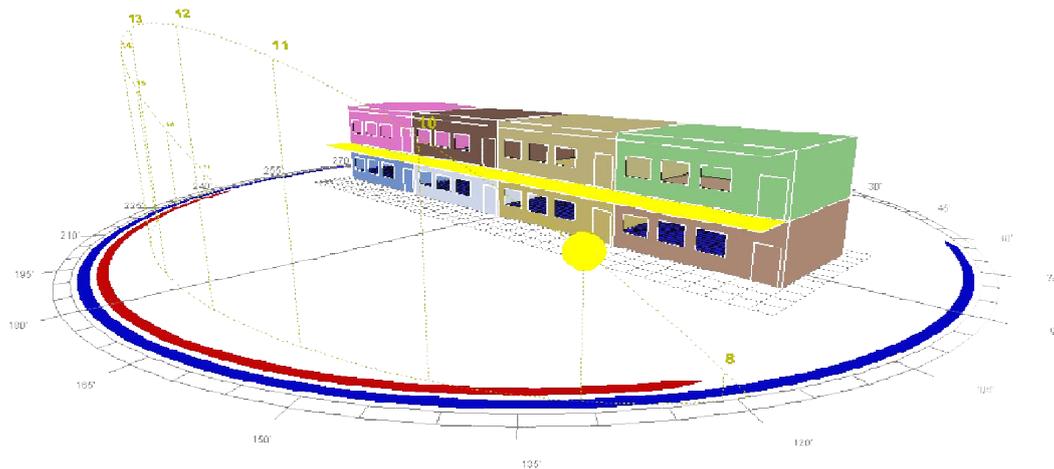


Figure.VI.57. Vue tridimensionnelle du type I orienté vers le Sud ainsi que la trajectoire du soleil pour le 21 Décembre.

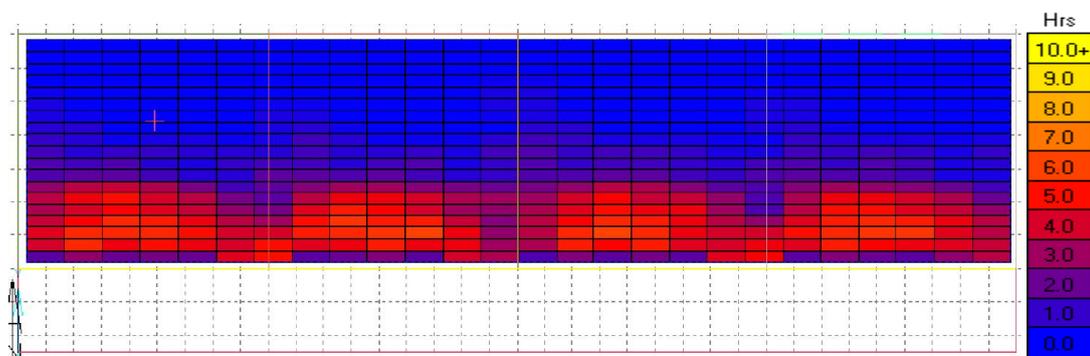


Figure.VI.58. Cumul d'enseillement (8h :00 à 17h :00) du 21 Décembre avec une orientation SUD du corridor.

Vues les conditions climatiques du mois de Décembre ainsi l'état couvert du ciel durant le mois de Décembre. Le type le plus performant énergétiquement doit avoir un éclairage optimal, donc un coefficient d'ombrage minime. D'après les résultats des simulations présentés ci-dessus et selon un ordre croissant du coefficient d'ombrage, on peut dire que les CEM de type II sont les plus favorable en terme d'ombrage (moins d'ombrage à l'intérieur) suivis par les CEM de type I puis les CEM de type III et enfin les CEM de type IV qui sont les CEM les plus ombré donc, les plus défavorable en terme d'ombrage selon le mois et l'orientation considérée.

Vues les basses altitudes du soleil durant le mois de Décembre, la tache solaire à l'intérieur des salles de classe pour les quatre types de CEM se répartit sur une surface considérable, elle peut occupée une surface de 50 % de la surface d'une salle de classe, ceci risque de provoquer un éblouissement à l'intérieur des salles. Seul les salles de la première rangée dans les CEM de type IV, où le soleil ne peut jamais les atteindre.

VI.3.2.1.2. Pour le mois de Mars

Le mois de Mars caractérisé par des altitudes relativement hautes, comparées à celles du mois précédent, ces altitudes sont comprises entre 27° et 57° , ainsi qu'un large azimut compris à son tour entre -70° et $+75^\circ$ encore plus large que celui du mois précédent. Dans ces conditions et d'après les résultats de simulations du coefficient d'ombrage des quatre types de CEM étudiés selon l'orientation Sud présenté dans la figure VI.59, on constate que les salles des quatre types de CEM sont plus ombragé durant le mois de Mars par rapport à celles du mois de Décembre, en effet :

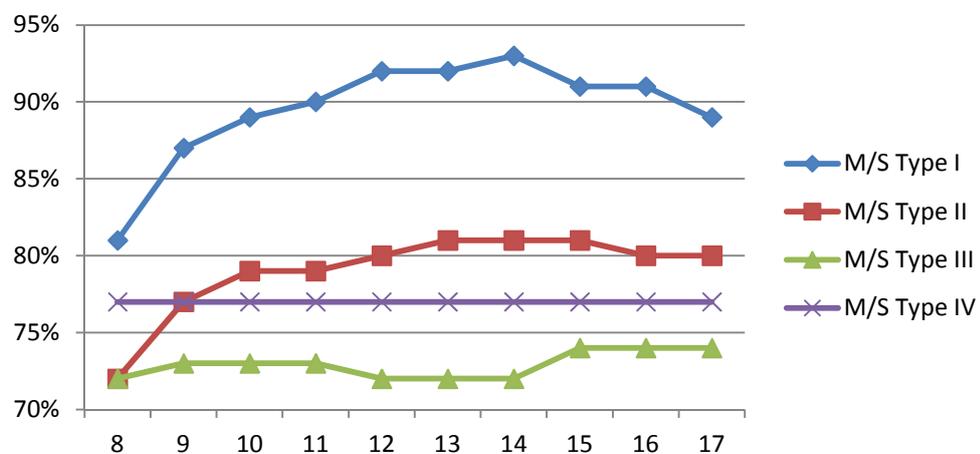


Figure VI.59. Coefficients d'ombrages des quatre types de CEM durant le mois de Mars selon l'orientation Sud

- Pour le mois de Mars et selon l'orientation Sud on peut dire que le type I est le type le plus ombragé, avec un coefficient d'ombrage qui varie entre 81% et 90% durant la tranche horaire d'étude, il atteint son maximum de 93% à 14h : 00. Ces valeurs importante du coefficient d'ombrage indiquent que la tache solaire est minimale à l'intérieure des salles de classe pour ce type de CEM. En effet, comme présenté dans la figure VI.60, la tache solaire à l'intérieur des salles est totalement nulle sauf aux salles des deux extrémités où la tache solaire est réparti sur une faible surface de 7% à l'intérieure de ces deux salles avec une durée maximale de deux heures (02 heures).



Figure.VI.60. Cumul d'enseillement (8h :00 à 17h :00) du 21 Mars avec une orientation SUD du corridor.

- Selon l'orientation Sud et pour le mois de Mars, le type II est le type le plus ombragé par rapport aux types III et IV, mais il est beaucoup moins ombragé par rapport au type I. Son coefficient d'ombrage passe de 72% à 80% durant la tranche horaire d'étude en gardant un maximum de 81% durant la tranche horaire allant de 13h :00 à 15h :00.
- A l'intérieure des salles de la première rangée, la tache solaire est totalement nulle. Cette tache, se répartit à l'intérieure des salles de la deuxième rangée d'une manière semblable et sur une surface de 12.5% avec une durée maximale de cinq heures. Elle est prêt des façades en expositions.

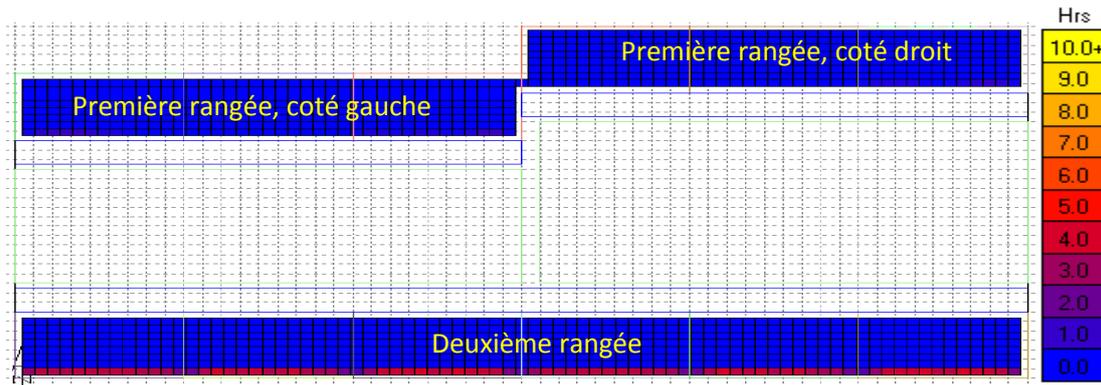


Figure.VI.61. Cumul d'enseillement (8h :00 à 17h :00) du 21 Mars avec une orientation SUD du corridor.

- Le type II est suivi par le type IV, ce dernier garde le même coefficient d'ombrage de 77% durant toute la période d'étude.
- La tache solaire dans les salles de classe de type IV, présentée dans la figure VI.62, se concentre dans les salles de la deuxième rangée dont l'orientation est vers le Sud. Cette tache occupe une surface moins importante à celle du mois précédent avec une surface de 15%, elle se concentre à l'intérieure des salles prêt des façades orientées vers le Sud, avec une répartition similaire d'une salle à une autre. La durée maximale de la tache solaire atteint les trois heures (03 h).
- La tache solaire est quasiment nulle dans les salles de la première rangée dans l'orientation est vers le Nord, ceci est due à la présence du corridor entre les deux rangées ainsi que l'effet d'occultation de l'enseillement provoqué par les salles de la deuxième rangée. Le comportement des CEM de type IV, pour le mois de Mars et dans l'orientation est vers le Sud est similaire à celui obtenu pour le mois de Mars mais dans l'orientation est vers le Nord, ceci est dû principalement à la symétrie de la conception de ce type selon les axes Nord-Sud.

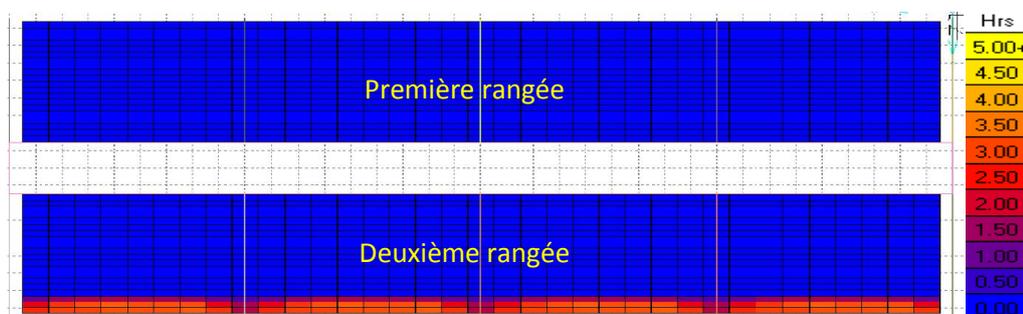


Figure VI.62. Cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Mars pour le type IV, avec une orientation Sud du corridor.

- Pour le mois de Mars et selon l'orientation Sud, le type III est le type le moins ombré, avec un coefficient d'ombrage qui varie entre 72% et 74 % durant la tranche horaire d'étude. A l'intérieure des salles, la tache solaire se concentre dans les quatre premières salles situées dans la première ligne en orientation Nord avec une durée maximale de deux heures. Pour les quatre salles du milieu, la tache solaire pénètre partiellement les salles où elle se répartit sur une faible surface avec une durée maximale de deux heures et demie. Pour les deux salles situées dans la ligne inférieure, la répartition de la tache solaire diffère d'une salle à une autre, elle est totalement nulle à l'intérieure de la salle orientée vers l'Est, pour la salle orientée vers l'Ouest, la tache solaire se répartit sur une surface de 12.5 % de la surface totale de la salle et pour une durée maximale qui peut atteindre les deux heures (2 heures).

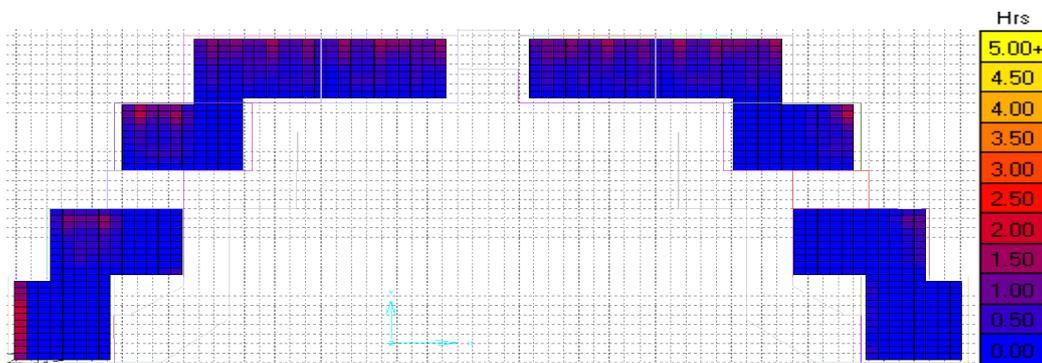


Figure VI.63. Cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Mars pour le type IV avec une orientation SUD du corridor.

D'après les résultats des simulations présentés précédemment, on peut dire que les CEM de type III sont les plus ensoleillés, suivie par les CEM de type IV, puis les CEM de type II et enfin les CEM de type I.

La conception de l'ensemble des CEM, ainsi que les altitudes élevées du soleil durant le mois de Mars, ne permettent pas d'avoir un ensoleillement important à l'intérieure des salles. En effet, la tache solaire se trouve souvent près des surfaces voisines aux fenêtres, de plus, elle est très minime, voir nulle, dans certains cas, comme par exemple les CEM en double rangées, c'est-à-dire les CEM de type II et de type IV où le soleil ne peut jamais atteindre les salles de la première rangée. La surface de répartition de la tache solaire est plus faible à celle du mois précédent. On peut dire alors, que pour le mois de Mars et selon l'orientation Nord, le risque d'éblouissement à l'intérieur des salles est minime voir nul.

VI.3.2.1.3. Pour le mois de Juin

Le mois de Juin est caractérisé par des azimuts et des altitudes représentant des valeurs maximales de l'année. Ainsi nous observons un champ d'azimut qui va de -118° à $+118^{\circ}$ et des altitudes qui vont de 37° à 78° entre 8h : 00 et midi. Selon ces données ainsi qu'aux résultats des simulations du coefficient d'ombrage pour la journée du 21 Juin présentés dans la figure VI.64, on peut conclure que :

- Avec l'augmentation des altitudes et des azimuts, les salles de classe des trois types : I, II et III deviennent de plus en plus ombragés, le type IV ne semble pas être influencé par ces deux paramètres, il garde toujours le même coefficient d'ombrage dans les valeurs sont comprises entre 76% et 77%.
- Pour le mois de Juin, les coefficients d'ombrages des trois types de CEM sont plus élevés par rapports à ceux des deux mois précédents. L'écart entre les coefficients d'ombrage de chaque type de CEM pour le mois de Juin et le mois de Décembre est considérable, alors qu'il est minime entre le mois de Juin et le mois de Mars.
- Le type I est le type le plus ombragé durant la tranche horaire allant de 10h : 00 à 16h : 00, avec un coefficient d'ombrage presque constant (autour de 93%), mais il est le moins ombragé entre 8h : 00 et 9h : 00 avec un faible coefficient d'ombrage de 59%. Cela veut dire que le soleil atteint les salles de classe durant ces heures.

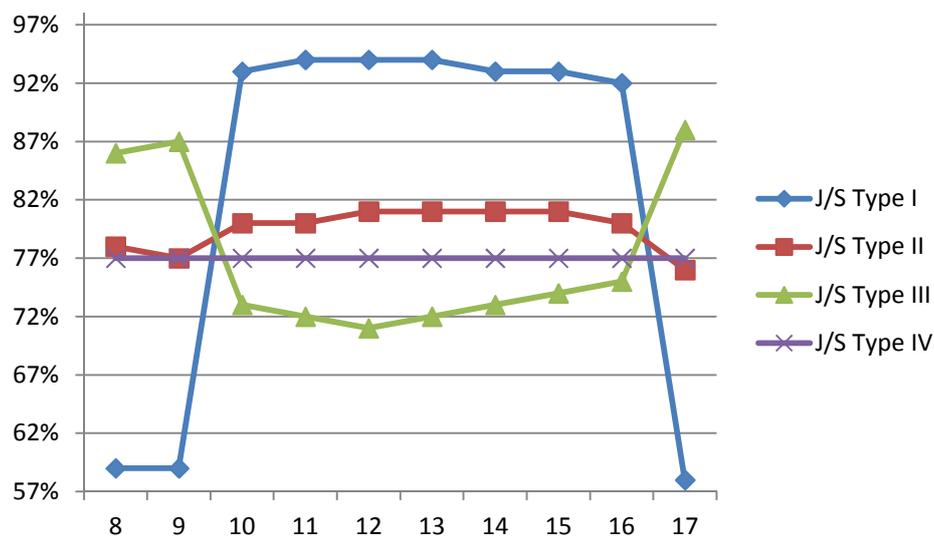


Figure VI.64. Coefficients d'ombrages des quatre types de CEM durant le mois de Juin selon l'orientation Sud



Figure VI.65. Cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Juin pour le type I, avec une orientation SUD du corridor.

- Les salles de classe des CEM de type I sont les moins ensoleillées durant la journée du 21 Juin. Le soleil ne peut atteindre que les façades en orientations Nord durant les premières heures de la matinée (de 8h : 00 à 9h : 00) et entre 16h : 00 et 17h : 00, offrant ainsi, une tache solaire répartit sur une très faible surface de 5%.
- Le type II garde un coefficient d'ombrage presque constant, de l'ordre de 81% durant la tranche horaire allant de 10h : 00 à 16h : 00. Ce dernier, est moins faible entre 8h : 00 et 9h : 00 avec une valeur de 77%. Il atteint son minimum de 76 % à 17h : 00.
- Selon la répartition bidimensionnelle de l'enseillement à l'intérieure des salles de classe des CEM de type II présentée dans la figure VI.66, on constate que la tache solaire est quasiment nulle, elle se répartit sur une très faible surface à l'intérieure des salles de la première rangée pour une durée maximale d'une heure (01 heure).

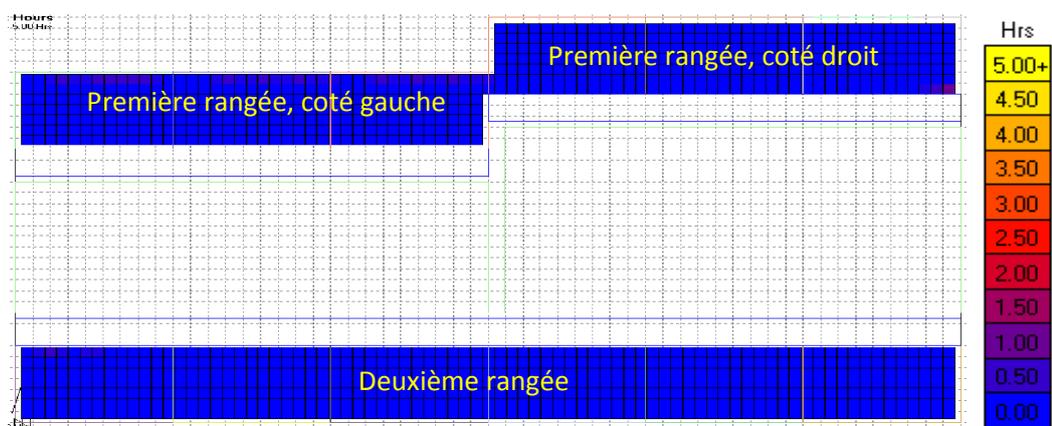


Figure VI.66. Cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Juin pour le type II, avec une orientation SUD du corridor.

- Le type IV est moins ombré par rapport aux types I et II. Il garde le même coefficient d'ombrage qui est de l'ordre de 77% durant toute la durée d'étude.
- Pour la journée du 21 Juin, le soleil ne peut pas atteindre les façades des salles de classe de type IV, sauf durant les premières heures de la matinée et à partir de 16h : 30 où le soleil touche les façades orientées vers le Nord à travers les deux cotés Nord-Est et Nord-Ouest respectivement. Offrant ainsi, une tache solaire répartit sur une faible surface de 5% pour une durée maximale de deux heures et demie. Pour les salles de la première rangée, la tache solaire est totalement nulle.

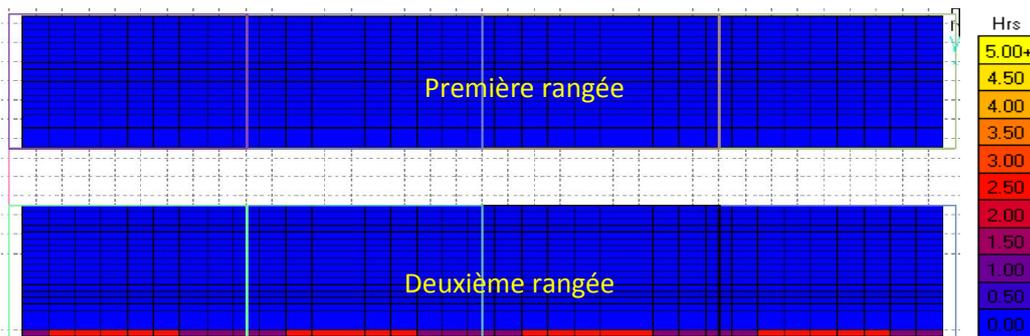


Figure VI.67. Cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Juin pour le type II, avec une orientation SUD du corridor.

- Le type III et le type le moins ombré avec un coefficient d'ombrage qui varié entre 71% et 88% durant la tranche horaire d'étude.
- Pour la journée du 21 Juin, le soleil suie une trajectoire placée au dessus des salles de classe centrale, dans ces conditions la tache solaire est presque nulles à l'intérieure de ces salles, cela est due à la présence de corridor au dessus des façades de ces classes.
- Le soleil peut atteindre les façades orientées vers l'Est durant les première heures de la matinée et les façades orientées vers l'Ouest durant les dernières heures de l'après midi, offrant ainsi, une tache solaire répartit sur une faible surface, sauf aux salles inférieures où la tache solaire attient une surface de 40% dans la salle orientée vers l'Ouest et de 22% dans la salle orientée vers l'Est avec des durées maximales de 3heures et demi et deux heures et demi respectivement.

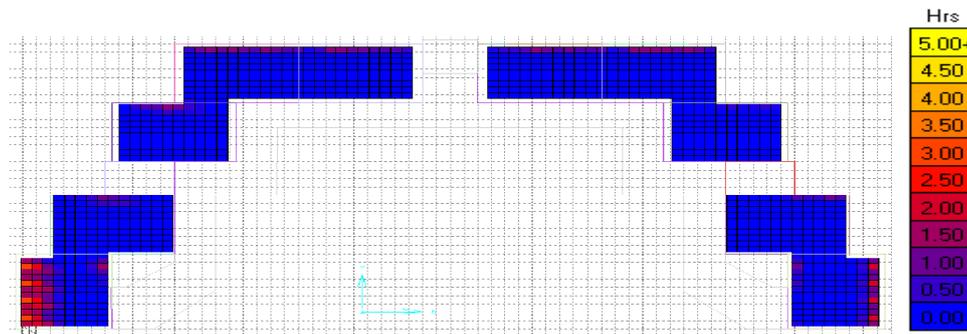


Figure VI.68. Cumul d'insolation entre 8h et 17h du 21 Juin pour le type II, avec une orientation SUD du corridor.

Le mois de Juin est caractérisé par un ciel très éclairé par rapport à celui des deux mois précédents. Dans ces conditions, le type le plus performant énergétiquement doit avoir un éclairage et un coefficient d'ombrage modéré. Les types de CEM les moins ensoleillés, selon la croissance du coefficient d'ombrage, sont les CEM de type III puis les CEM de type IV suivis par les CEM de type II et enfin les CEM de type I. L'ensemble de ces CEM ne permet pas d'avoir une tache solaire importante aux seins des salles de classe. Ceci peut être considéré comme un avantage car on peut éviter l'éblouissement à l'intérieure des salles. Par contre aux niveaux des salles inférieurs des CEM de type III, la tache solaire est importante, ceci peut créer un éblouissement à l'intérieure de ces salles de classe.

VI.3.2.2. TEMPERATURE INTERIEURE

VI.3.2.2.1. Pour le mois de Décembre

- La température à l'extérieure (Text) est très basse durant la journée du 21 Décembre comparées à celle des autres mois. Elle varie ente 9,9°C et 12°C entre 8h : 00 et 17h : 00 on atteignant son maximum de 13,3°C à 15h : 00. A cette heure, les températures à l'intérieure des salles ne sont pas maximales, en effet :
 - o le type I atteint son maximum de température de 7,8 °C à 14h : 00, sa température variée entre 6.6°C et 7.2°C durant la tranche horaire allant de 8h : 00 à 17h : 00.
 - o le type II atteint son maximum de température de 7,7°C entre 13h : 00 et 14h : 00. Sa température variée entre 6,5°C et 7,3°C durant la tranche horaire allant de 8h : 00 et 17h : 00,

- le type III atteint son maximum de température de 8,2°C entre midi et 13h : 00. La température à l'intérieure des salles variée entre 6,7 °C et 7,4 °C durant la tranche la tranche horaire d'étude.
- Enfin le type IV avec une température maximale de 7,1 °C à partir de 14h : 00. Sa température variée entre 6,3°C et 7,1°C durant la tranche horaire d'étude.

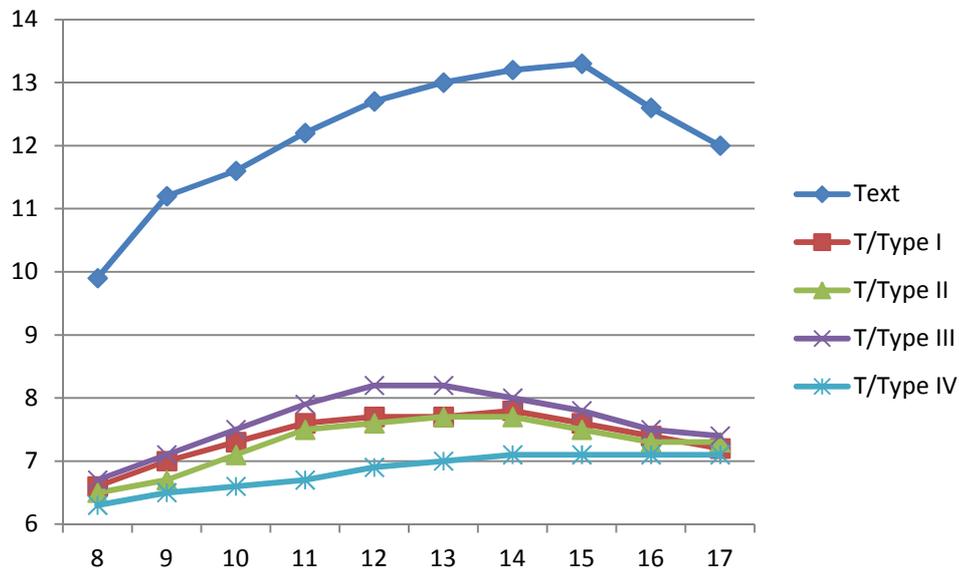


Figure VI.69. Température extérieure et les températures à l'intérieures des salles des quatre types de CEM pour la journée du 21 Décembre.

- Les températures à l'intérieur des salles de chaque type ne varient pas d'une manière importante durant la tranche horaire d'étude. Ces températures sont plus basses à celle de l'extérieure, créant ainsi, des gradients de température positif est par conséquent, le transfert de chaleur par conduction est orienté de l'extérieure vers l'intérieur.
- Selon l'évolution des gradients des températures des quatre types des CEM pour la journée du 21 Décembre présenté dans la figure VI.70, on remarque que la valeur maximale du gradient de la température des quatre types de CEM est atteinte à 15h :00, c'est-à-dire à l'heure où la température à l'extérieure est maximale. Selon cette évolution des gradients, on peut classer les quatre types de CEM selon un ordre décroissant des gradients comme suit :
 - Le type IV avec un maximum de 6.2 °C,
 - Le type II avec un maximum de 5,8°C,
 - Le type I avec un maximum de 5,7 °C,

- Et enfin le type III avec un maximum de 5,5 °C.
- *Selon cette classification, on peut dire que les salles des CEM du type IV, sont les salles les plus froides, suivies par les salles des CEM de type II, puis les salles des CEM de type I et enfin les salles des CEM de type III :*

(Type IV → Type II → Type I → Type III).

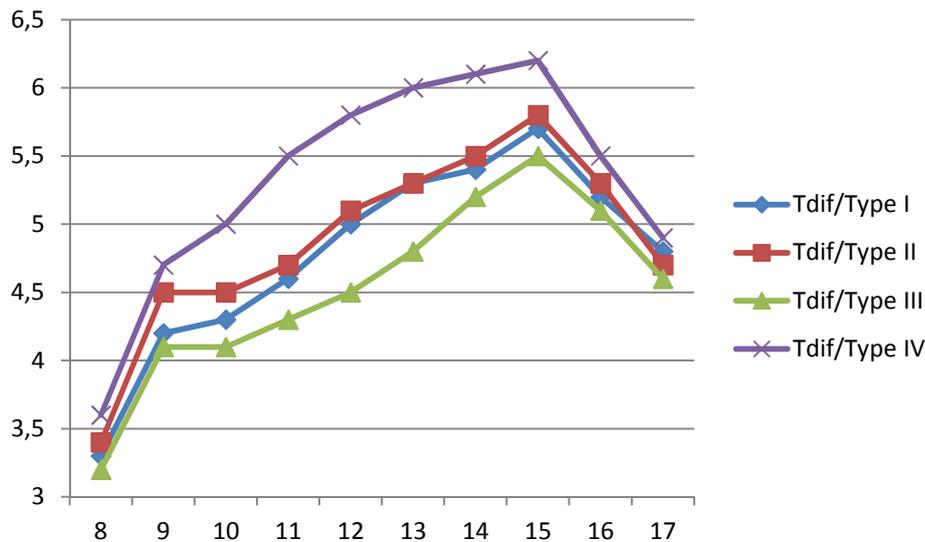


Figure 70. Gradients de températures des quatre types de CEM pour la journée du 21 Décembre.

VI.3.2.2.2. Pour le mois de Mars

- Le mois de Mars représenté par la journée du 21 est Caractérisé par des températures plus élevées par rapport à celles du mois précédent. La température extérieure variée entre 14,5°C et 18,9°C durant la tranche horaire d'étude, en passant par son maximum de 20,9°C à 15h : 00.
- Selon les résultats des simulations des températures à l'intérieur des salles des quatre types de CEM présentées dans la figure VI.71, on peut dire qu'il n'existe pas une grande différence entre les températures intérieures de chaque type pour le mois considéré selon les deux orientations Nord et Sud.
- Pour le mois considéré, l'écart entre la température extérieur et la température intérieure de chaque type est considérable par rapport à celui du mois de Décembre, offrant ainsi, des gradients de température plus importants par rapport à celui du mois précédent. Ces

gradients sont toujours positifs, cela veut dire que le transfert de chaleur par conduction est orienté de l'extérieur vers l'intérieur.

- La variation des températures à l'intérieur des salles ne varient pas d'une manière importante durant la tranche horaire allant de 8h : 00 à 17h : 00.
- Pour le mois considéré, la valeur maximale de la température extérieure de 20,9°C est atteinte à 15h :00. Contrairement au mois précédent, à cette heure les températures à l'intérieures des salles des classes de type I et de type II sont maximales, en effet :
 - o le type I atteint sa température maximale de 10,2°C entre 15h : 00 et 16h : 00. Sa température variée entre 9.1 °C et 10 °C durant la tranche horaire d'étude.
 - o de même, le type II atteint sa température maximale de 10,2°C entre 15h : 00 et 16h : 00, sa température variée entre 9 °C et 10,1 °C durant la tranche horaire allant de 8h : 00 à 17 h : 00,
 - o pour le type III, son maximum de 10,9 °C est atteint entre 12h : 00 et 13h : 00. La température à l'intérieure des salles variée entre 9,1 °C et 10,1 °C durant la tranche horaire d'étude.
 - o Le type IV atteint son maximum de 10 °C entre 15h : 00 et 16h : 00. La température intérieure variée entre 8,7°C et 9,9°C durant la tranche horaire allant de 8h : 00 à 17h : 00.
- Pour le mois de Mars, les températures à l'intérieures des salles sont plus importantes comparées à celle du moi de Décembre.

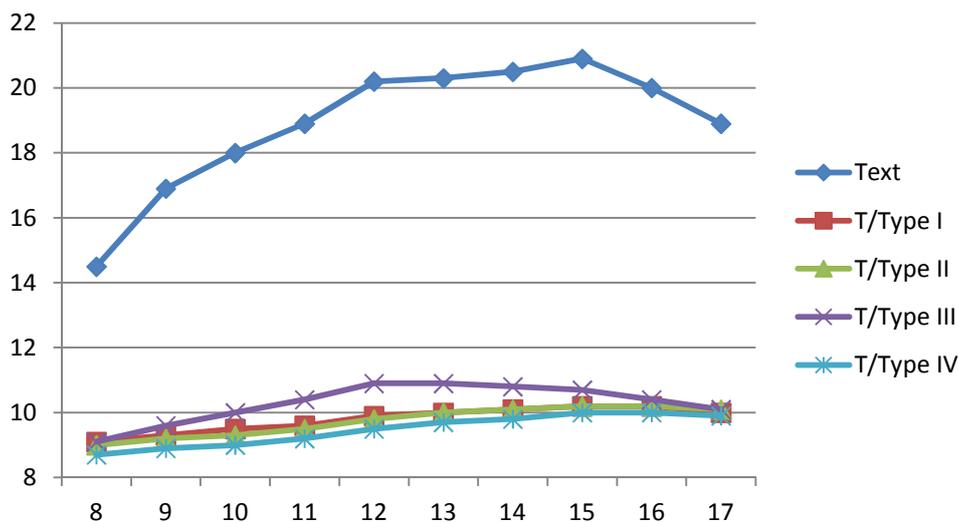


Figure VI.71. Température extérieure et les températures à l'intérieures des salles des quatre types de CEM pour la journée du 21 Décembre.

- Les gradients des températures des quatre types de CEM pour la journée du 21 Mars, présentés dans la figure VI.72 sont toujours positifs, cela veut dire que les températures à l'extérieure sont supérieures à celles de l'intérieure, ainsi, le transfert de chaleur par conduction est orienté de l'extérieure vers l'intérieure. Le maximum des températures est atteint à 15h : 00. Pour ce mois, les quatre types sont classés selon un ordre décroissant du gradient, comme suit :
 - o Le type IV avec un maximum de 10,9 °C,
 - o Le type II et le type I avec un maximum de 10,7 °C, l'évolution de la température intérieure des salles de type II est très voisine à celles des salles de type I, pour classé ces deux type selon un ordre décroissant du gradient, on se base sur la valeur moyenne du gradient, dans ce cas, on peut dire que les salles de type II sont plus froides que celles des classes du premier type.
 - o Le type III avec un maximum de 10,2 °C.
- *Selon cette classification, on peut dire que les salles des CEM du type IV, sont les salles les plus froides, suivies par les salles des CEM de type I puis les salles de type I et enfin les salles de classe des CEM de type III.*
- *(Type IV → Type II → Type I → Type III).*

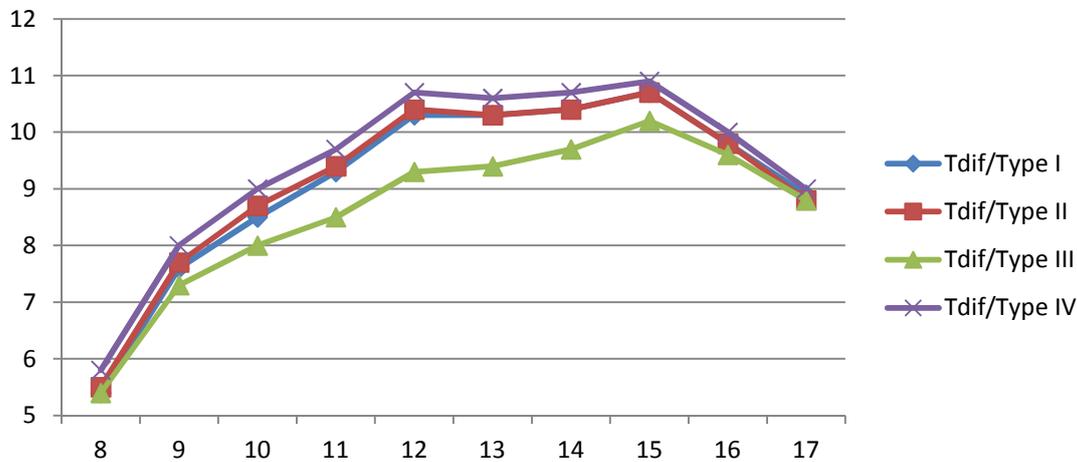
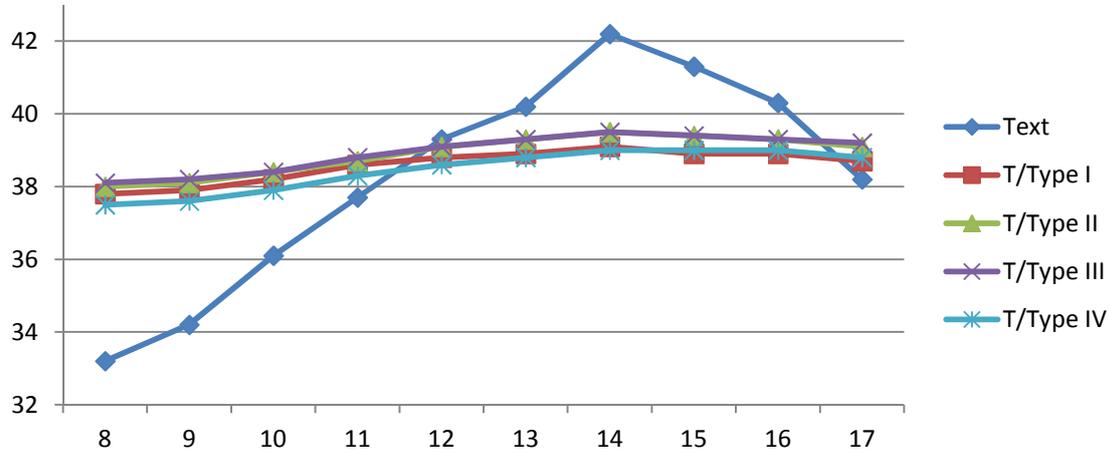


Figure VI.72. Gradients des températures des quatre types de CEM pour la journée du 21 Mars.

VI.3.2.2.3. Pour le mois de Juin

- Le mois de Juin, caractérisé par des températures très élevées comparées à celles des deux mois précédents, où la température à l'extérieure (Text) variée entre 33,2°C et

38,2°C durant la tranche horaire d'étude on atteignant son maximum de 42,2 °C à 14h : 00. Selon ces températures, il est normale que les températures à l'intérieures des salles (T) soient les plus importantes comparées à celles des deux mois précédents.



- Figure VI.73. Température à l'extérieur pour la journée du 21 Juin et les températures à l'intérieure des salles des quatre types de CEM.
- Pour le mois de Juin et selon l'orientation Sud, les températures à l'intérieures des salles des quatre types de CEM sont presque celles obtenues selon l'orientation Nord.
- L'évolution des températures à l'intérieures des salles pendant la matinée diffère par rapport à celle des deux mois précédents (Décembre et Mars), en effet, la température à l'intérieure des salles des quatre types dépasse celle de l'extérieures pendant la tranche horaire allant de 8h :00 à 11h : 00 alors que les températures à l'intérieures des salles pour les mois précédents ne dépasse jamais celle de l'extérieure. A partir de 11h : 00, les températures intérieures des quatre types sont inférieures par rapport à celles de l'extérieures.
- Pour le mois considéré, la valeur maximale de la température extérieure de 42,2°C est atteinte à 14h :00. Contrairement au mois de Mars, à cette heure les températures à l'intérieures des salles de classe sont maximales, en effet :
 - o le type I atteint sa température maximale de 39,12°C à 14h : 00. Sa température intérieure variée entre 37,8 °C et 38,7 °C durant la tranche horaire d'étude,
 - o de même, le type II atteint son maximum de 39°C à 14h : 00. La température intérieure variée entre 38°C et 39,1°C durant la tranche horaire d'étude,
 - o le type III atteint sa température maximale de 39,5°C à 14h : 00. Sa température variée entre 38,1 °C et 39,2°C durant la tranche horaire d'étude,

- le type IV atteint son maximum de 39°C à partir de 14h : 00. Sa température variée entre 37,5 °C et 38,8°C entre 8h : 00 et 17h : 00.
- La température à l'intérieure des salles des quatre types ne variée pas de manière considérable durant la durée d'étude, l'écart maximale entre les températures intérieures est de 1,3°C pour le type I, 1,5°C pour le type II, 1,4 °C pour le type III et enfin de 1,5°C pour le type IV.
- l'écart entre la température extérieur et la température intérieure de chaque type est moins important par rapport à celui du mois de Mars, offrant ainsi des gradients de température moins importants. Le signe du gradient de température, définit par la différence entre la température extérieure et la température intérieure, pour le mois considéré diffère à celui des mois précédents, la où le signe du gradient est toujours positif. Il est négatif pendant la tranche horaire allant de 8h : 00 à 11h : 00 et même à 17h : 00, dans cette période, le transfert de chaleur par conduction est orienté de l'intérieure vers l'extérieure. Il devient positif entre 11h :00 et 16h : 00, la où le transfert de chaleur par conduction est orienté de l'extérieure vers l'intérieure.

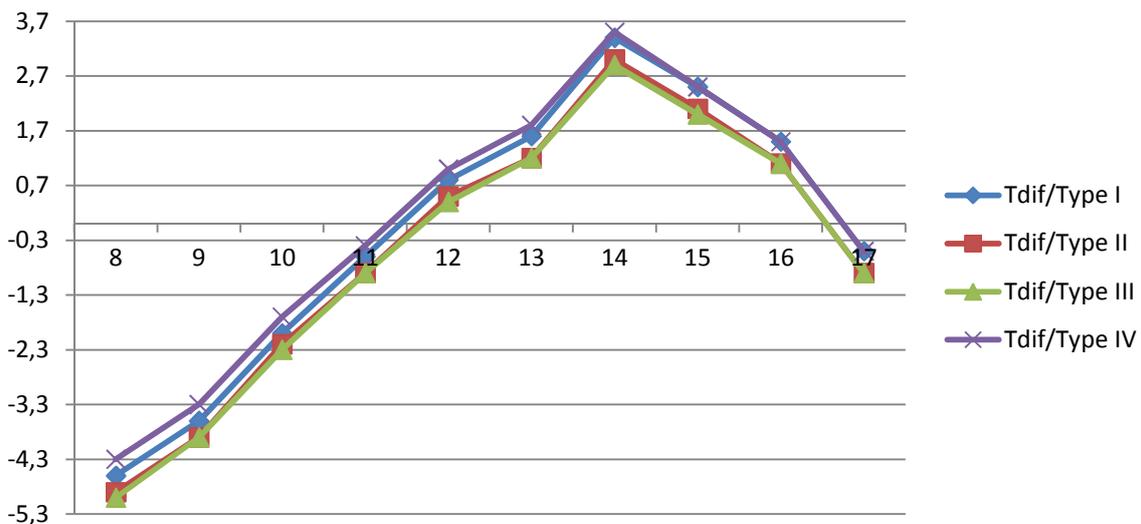


Figure VI.74. Gradients de températures des quatre types de CEM pour la journée du 21 Juin.

- Pour ce mois, les quatre types sont classés selon un ordre décroissant du gradient comme suit :
 - Le type IV avec un maximum de 4,3 °C,
 - Le type I avec un maximum de 4,6 °C

- Les deux types II et III ont des températures très voisines avec un maximum de gradient de 4,9°C. selon la valeur moyenne des gradients de ces deux types, on peut dire que le type II est le type le plus froid.
- *Selon cette classification, on peut dire que les salles des CEM de type IV, sont les salles les plus froides, suivies par les salles des CEM de type I puis les salles de CEM de type II et enfin les salles de type III, Ces derniers ont des températures presque voisines. (Type IV \longrightarrow Type I \longrightarrow Type II \longrightarrow Type III).*

VI.3.2.3. SYNTHÈSE DES RESULTATS DES SIMULATIONS SELON L'ORIENTATION SUD

VI.3.2.3.1. Pour le mois de Décembre

En comparant les quatre diagrammes des quatre type de CEM avec le diagramme optimal, pour le mois de Décembre, on peut dire que le diagramme de CEM de type II est le diagramme le plus proche à celui du diagramme optimal avec deux paramètres identiques (ombrage et éclairage) et deux paramètres voisins (température et ensoleillement).

Pour le mois de Décembre et pour l'orientation Nord, on peut conclure que les CEM de type II sont les CEM les plus performant énergétiquement.

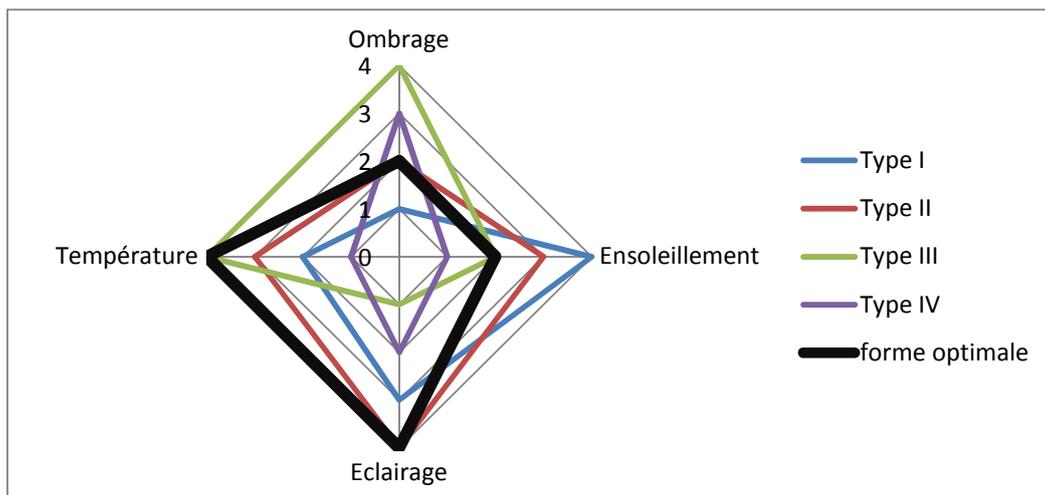


Figure. VI.75. Diagrammes radar des paramètres des quatre types de CEM, ainsi que le diagramme optimal, pour le mois de Décembre.

VI.3.2.3.2. Pour le mois de Mars

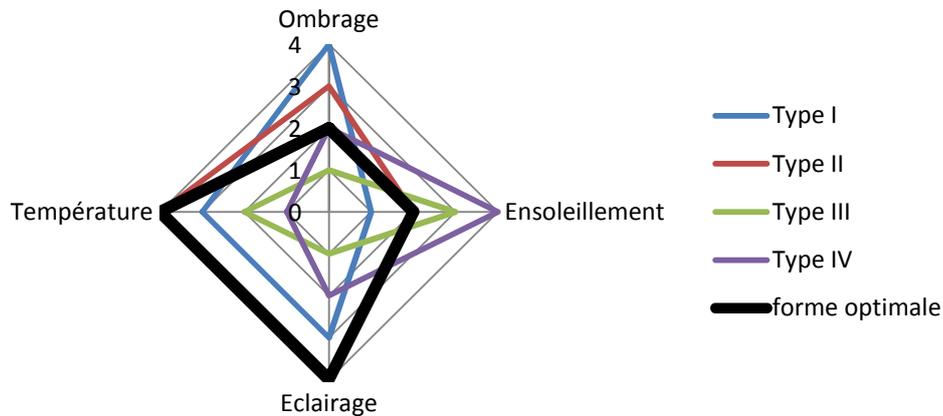


Figure. VI.76. Diagrammes radar des paramètres des quatre types de CEM, ainsi que le diagramme optimal, pour le mois de Mars, Nord.

En comparant les quatre diagrammes des quatre type de CEM avec le diagramme optimal, pour le mois de Mars, on peut dire que le diagramme de CEM de type II est le diagramme le plus proche à celui du diagramme optimal, cette fois-ci avec trois paramètres identiques (température, ensoleillement et éclairage) et un seul paramètre voisin (ombrage).

Pour le mois de Mars et pour l'orientation Nord, on peut conclure que les CEM de type II sont les CEM les plus performant énergétiquement.

VI.3.2.3.3. Pour le mois de Juin

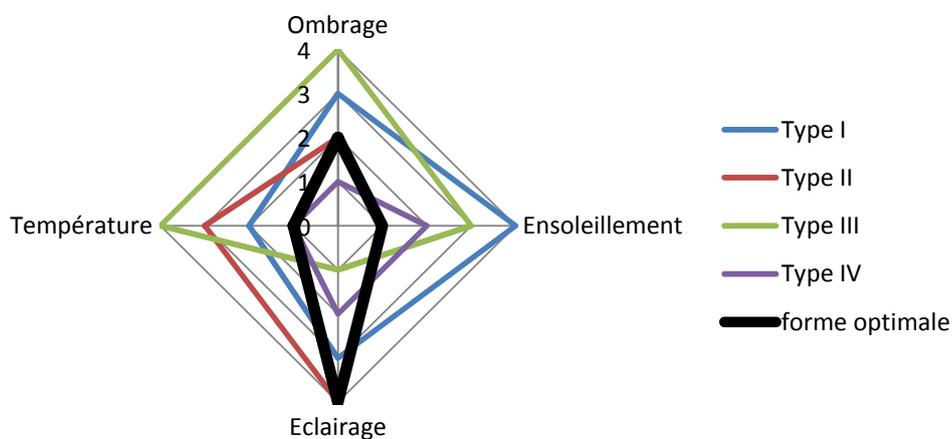


Figure. VI.77. Diagrammes radar des paramètres des quatre types de CEM, ainsi que le diagramme optimal, pour le mois de Juin.

En comparant les quatre diagrammes des quatre type de CEM avec le diagramme optimal, pour le mois de Juin, on peut dire, même pour ce mois, que le diagramme de CEM de type II est le diagramme le plus proche à celui du diagramme optimal, avec trois paramètres identiques (ombrage, ensoleillement et éclairage) et un seul paramètre voisin (température).

Pour le mois de Juin et pour l'orientation Nord, on peut conclure que les CEM de type II sont les CEM les plus performant énergétiquement.

Nous concluons ainsi, que les CEM de type II sont les CEM les plus performants énergétiquement selon l'orientation Nord.

VI.3.3. POUR L'ORIENTATION EST

Dans le but est de faire une évaluation des performances énergétiques des quatre types de CEM proposés dans le cadre de notre travail selon l'orientation Est et pour les trois mois de référence représenté respectivement par les journées du : 21 Décembre, 21 Mars et du 21 Juin. Nous présentons dans cette partie, les résultats des simulations des performances énergétiques des quatre types de CEM étudié. Ces performances concerne : le coefficient d'ombrage, la répartition de l'ensoleillement à l'intérieure des salles de classe et enfin, l'évolution temporelle de la température moyenne aux seins des salles de classe.

VI.3.3.1. OMBRAGE ET ENSOLEILLEMENT

VI.3.3.1.1. Pour le mois de décembre

Pour la simulation de ce modèle, on retiendra la journée référentielle du mois considéré, à savoir celle du 21. Cette journée est aussi connue pour être la plus courte de l'année, avec les plus basses hauteurs du soleil n'excédant pas le maximum des 32° à midi. Quant aux azimuts du lieu considéré, ils oscillent entre -60° et 60° , offrant de ce fait un petit champ d'exposition au soleil. Selon les données qui concerne la trajectoire du soleil durant le mois de décembre ainsi qu'aux résultats de simulation du coefficient d'ombrages des salles de classe des quatre types de CEM présentés dans la figure VI.78, on peut conclure que :

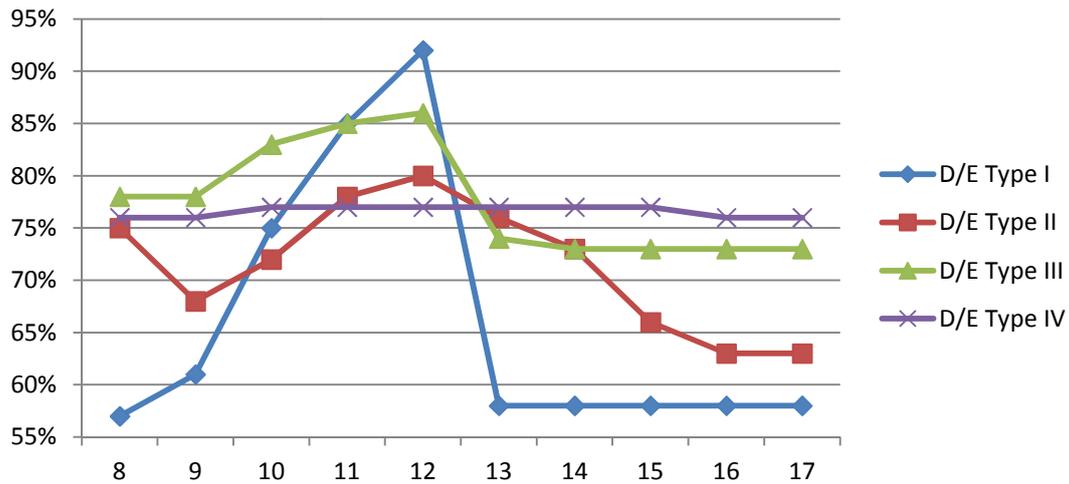


Figure VI.78. Coefficients d'ombrage des quatre types de CEM durant le mois de décembre selon l'orientation Est.

Pour le type I :

- Le coefficient d'ombrage de ce type progresse durant la matinée, ce dernier passe de sa valeur minimale de 57% atteinte à 8h : 00 jusqu'à sa valeur maximale de 92 % atteinte à midi. A partir de cette heure, le coefficient d'ombrage est quasiment constant avec la même valeur de 58% durant la tranche horaire allant de midi à 17h : 00.



Figure.VI.79. Vue tridimensionnelle du type I orienté vers l'Est ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Décembre.

- L'angle que fait le soleil par rapport à ces dispositions, permet d'atteindre les profondeurs des salles de classe,
- Pour la disposition des salles de classe présentées dans la figure VI.79, on peut dire que le soleil touche les façades orientées vers l'Est la matinée en provenance du Sud-Est, et les façades orientées vers l'Ouest l'après à midi en provenance du Sud-Ouest. Dans ces conditions, le soleil pénètre les salles de classe durant toute la journée.

Le soleil pénètre les salles à travers les façades orientés vers l'Est pendant la matinée et les façades en orientations Ouest à l'après midi, offrant ainsi, une tache solaire qui se répartit de manière homogène d'une salle à une autre et sur une surface très importante de 87% avec une durée qui peut atteindre les 3h : 00.

- Pour le mois considéré, on peut dire que cette disposition (orientation Est) offre un ensoleillement à l'intérieures des salles de classe de type I, beaucoup plus important comparé à celui obtenu pour les deux autres orientations Nord et Sud où la tache solaire est réparti sur une surface de 45%.

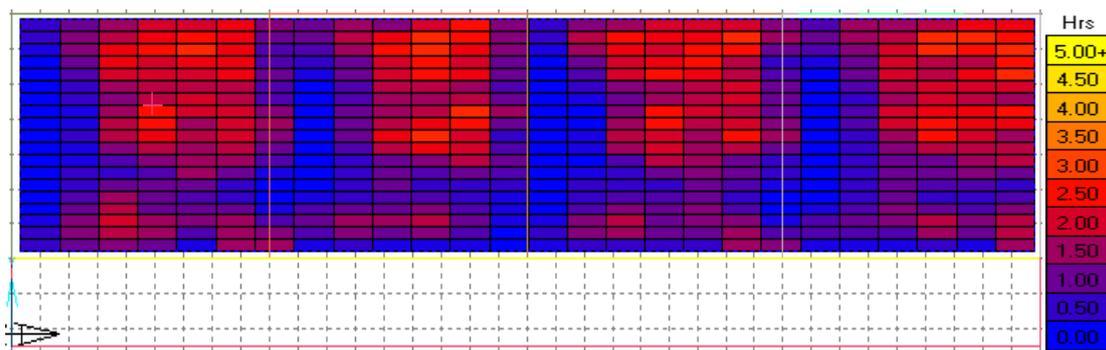


Figure VI.80. Cumul d'ensoleillement entre 8h et 17h du 21 Décembre pour le type I, avec une orientation Est du corridor.

Pour le type II :

- Le coefficient d'ombrage de ce type oscille entre 75% et 63% durant la tranche horaire d'étude, ce dernier atteint son maximum de 80 % à midi.
- L'angle que fait le soleil durant la journée du 21 Décembre par rapport à ces dispositions, permet d'atteindre les profondeurs des salles de classe,
- Selon la disposition des salles de classe de ce type présenté dans la Figure VI.81, les façades en orientations Est sont en expositions directe avec le soleil en provenance du Sud-Est durant toute la matinée, le soleil en provenance du Sud-Est touche les façades

orientées vers l’Ouest à partir de midi. Ces conditions permettent à une réparation importante de la tache solaire à l’intérieure des salles de ce type, où elle se répartit sur une surface de 81% dans les salles de la deuxième rangée pour une durée maximale qui peut atteindre les trois heures (03 heures), alors quelle est entre 79% et 58% dans les salles de la première rangée. Cette différence de surface entre les salles de la première et la deuxième rangée peut être expliquée par la présence de corridor dans les façades au dessous des salles de classe de la première rangée ainsi qu’à la présence d’un décrochement entre les salles de la première rangée. Ce dernier, occulte les façades en exposition offrant ainsi, une tache solaire plus faible à l’intérieure de ces salles.

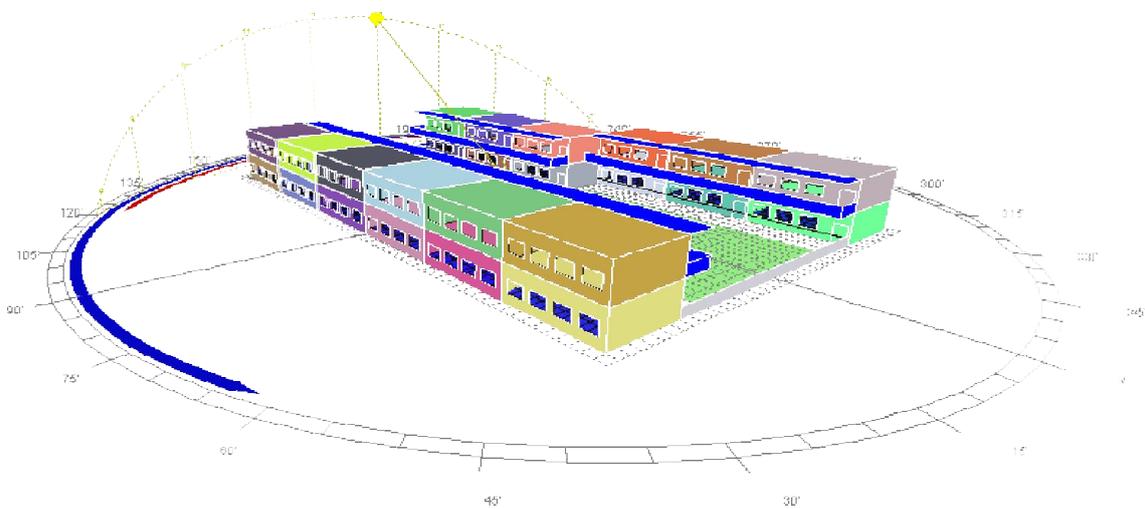


Figure.VI.81. Vue tridimensionnelle du type II orienté vers l’Est ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Décembre.

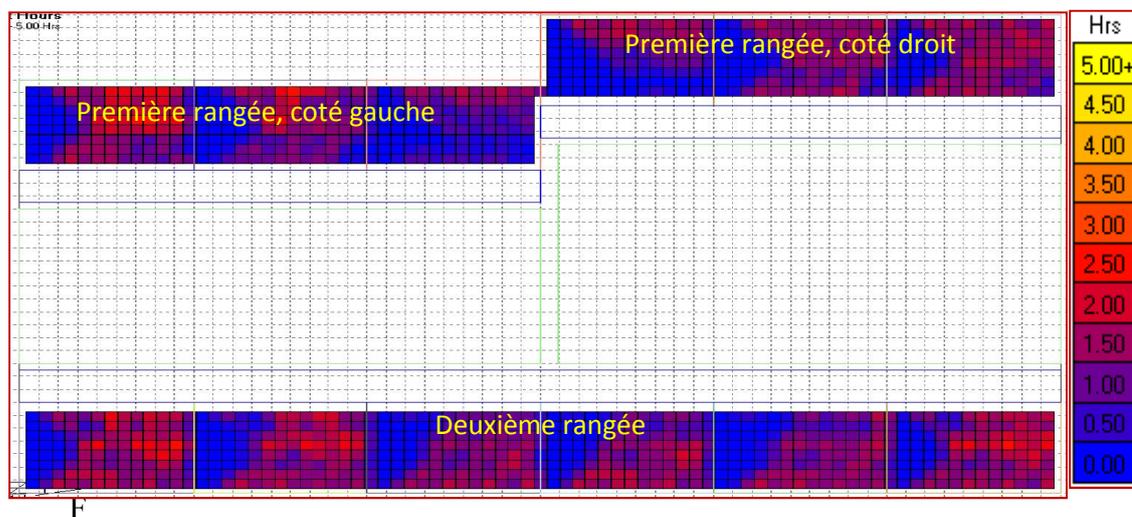


Figure VI.82. Cumul d’enseiement entre 8h et 17h du 21 Décembre pour le type II, avec une orientation Est du corridor.

Pour le type III :

- La valeur du coefficient d'ombrage de ce type augmente de 78 % à son maximum de 86% entre 8h : 00 et midi. A partir de cette heure, le coefficient d'ombrage garde la même valeur de 73 % durant la tranche horaire allant de midi à 17h : 00.
- Selon la disposition des salles de classe de ce type présenté dans la Figure VI.83, on remarque que, les façades en orientation Est sont en exposition directe avec le soleil en provenance du Sud-Est durant la matinée. Les façades en orientation Sud seront exposées au soleil à partir de 10h : 30. A partir de 15h : 00, seules les façades en orientation Est seront exposées au soleil provenant du Sud-Est.
- Comme présenté dans la figure VI.84, on peut dire que la tache solaire se répartit d'une manière plus importante dans les quatre salles situées dans la partie supérieure de ce type et dans l'orientation est vers l'Ouest, la durée maximale de l'ensoleillement à l'intérieure de ces salles peut atteindre les deux heures. L'ensoleillement pénètre à l'intérieure de ces salles à travers les façades dans l'orientation est vers l'Ouest.

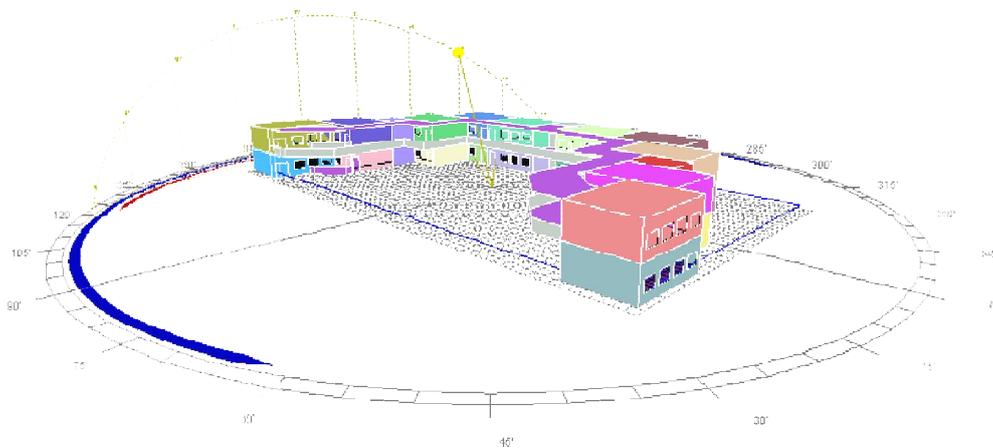


Figure.VI.83. Vue tridimensionnelle du type III orienté vers l'Est ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Décembre.

- La tache solaire est presque nulle à l'intérieure des deux salles centrales orientées vers l'Ouest, ces dernières ne permettent pas à la pénétration du soleil car ils sont dotés de corridors selon les façades en exposition.
- La tache solaire dans les deux salles centrales orientées vers l'Est est minimale, cela est dû à l'absence des fenêtres dans les façades en exposition. L'ensoleillement pénètre à l'intérieure de ces salles à travers les fenêtres placées dans les façades orientés vers

l'Ouest. La tache solaire dans la salle inférieure orientée vers le Nord est presque nulle, cela peut être expliqué par la présence du corridor dans ces salles, dont l'orientation est vers le Sud, ce dernier occulte la salle.

- La tache solaire occupe une surface très importante dans la salle inférieure, orientée vers l'Est par rapport à la salle inférieure orientée vers l'Ouest. L'ensoleillement pénètre l'intérieure de cette salle à travers la façade orientée vers le Sud offrant ainsi une tache solaire répartit sur une surface de 37% pour une durée maximale de quatre heures (4 heures).
- Comparées aux salles des classes du type I et II, on peut dire que les salles de type III sont les moins ensoleillées.

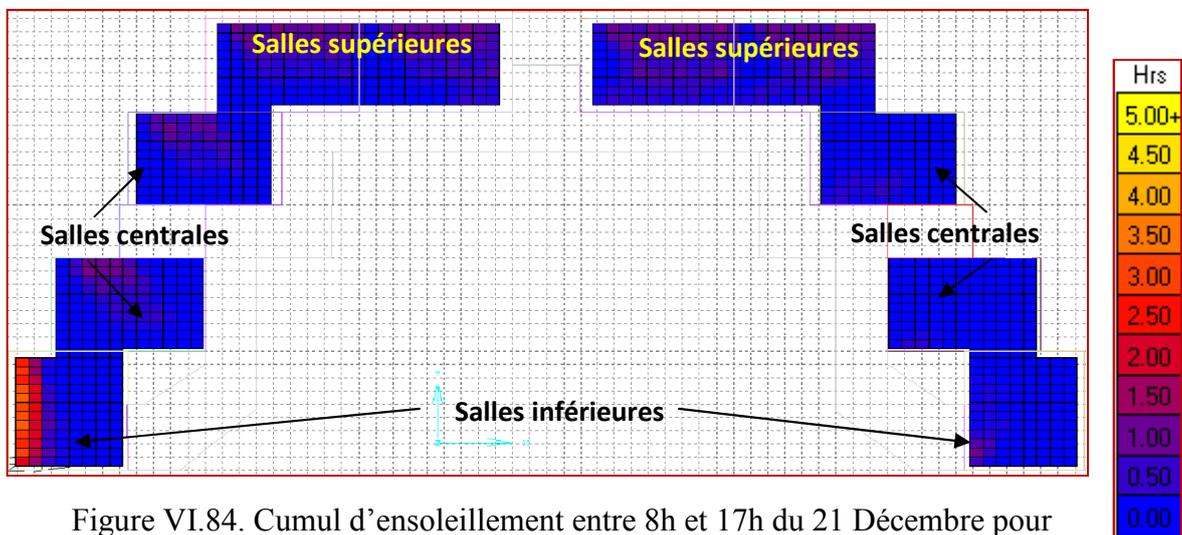


Figure VI.84. Cumul d'ensoleillement entre 8h et 17h du 21 Décembre pour le type III, avec une orientation Est du corridor.

Pour le type IV :

- De même que les deux orientations précédentes, le type IV garde le même coefficient d'ombrage qui est de l'ordre de 76% durant toute la durée d'étude.
- Selon la disposition des salles de classe de type IV présentée dans la Figure VI.85, on constate que les façades orientées vers l'Est sont en exposition directe avec le soleil en provenance du Sud-Est durant toute la matinée, le soleil en provenance du Sud-Est touche les façades orientées vers l'Ouest à partir de 14h : 30. Dans ces conditions, l'ensoleillement à l'intérieure des salles de classe orientées vers l'Ouest est plus important par rapport à celui des salles orientées vers l'Est. En effet, La tache solaire se répartit dans les salles en orientation Ouest sur une surface de 83 %, alors quelle est de 55% à l'intérieures des salles en orientation Est.

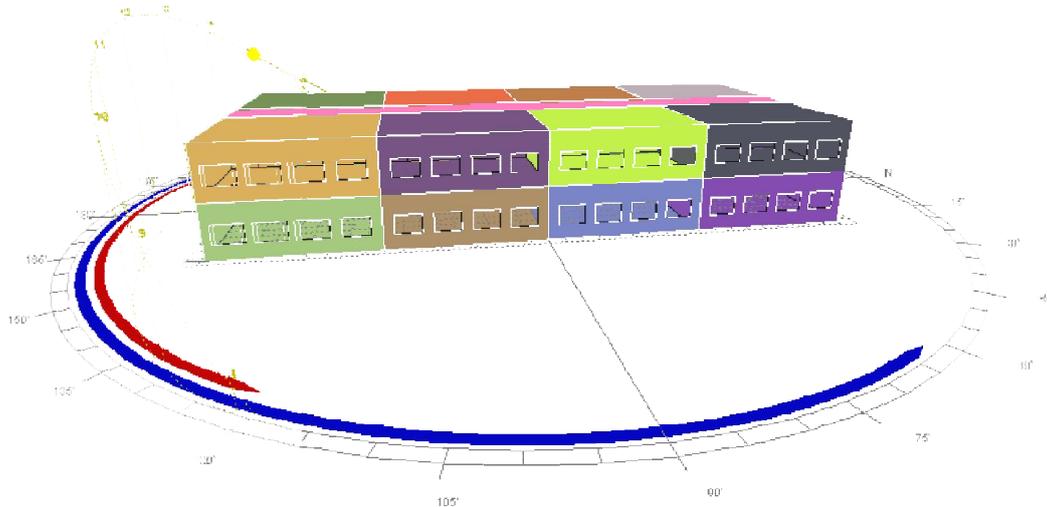


Figure.VI.85. Vue tridimensionnelle du type IV en orientation Est ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Décembre.

- Par rapport aux deux autres orientations présentées précédemment (Nord et Sud). La tache solaire dans le cas de l'orientation Est se répartit à l'intérieure de toutes les salles avec des durées de deux heures et demi.

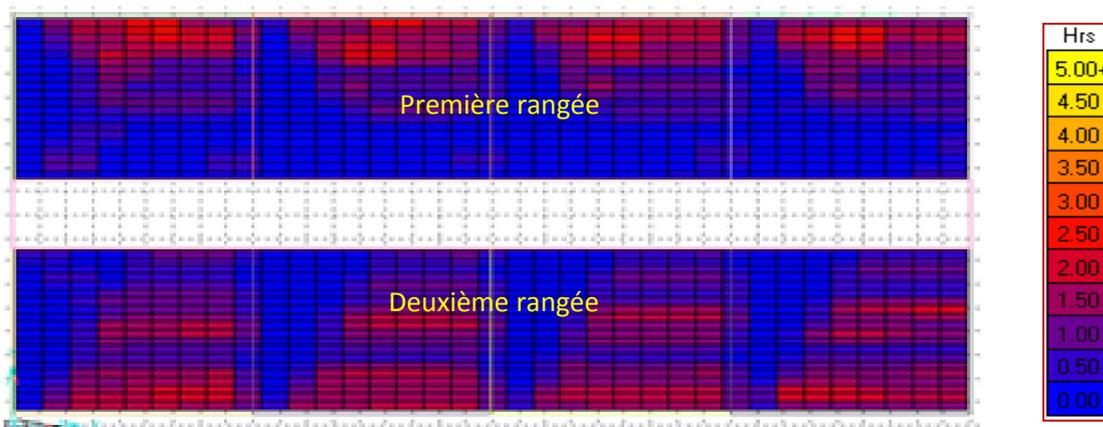


Figure VI.86. Cumul d'ensoleillement entre 8h et 17h du 21 Décembre pour le type IV, avec une orientation Est du corridor.

Etant donné que le ciel durant le mois de Décembre soit généralement couvert. Le type le plus performant énergétiquement dans ces conditions doit avoir un éclairage optimal, donc un coefficient d'ombrage minime. D'après les résultats des simulations présentés ci-dessus, et selon un ordre croissant du coefficient d'ombrage, on peut dire que les CEM de type I sont les plus favorable en terme d'ombrage suivis par les CEM de type II

puis les CEM de type VI et enfin les CEM de type III qui sont les CEM les plus ombré donc, les plus défavorable en terme d'ombrage selon le mois et l'orientation considérée.

La tache solaire à l'intérieur des salles de classe pour les quatre types de CEM se répartit sur une surface considérable et pendant une durée importante. Ceci peut provoquer un éblouissement à l'intérieur des salles.

VI.3.3.1.2. Pour le mois de Mars

Caractérisé par des hauteurs du soleil plus importantes que celles du mois précédent et dont les valeurs se situent entre 27° et 57° avec un plus large azimuth variant de -70° à $+75^\circ$ encore plus large que celui du mois précédent, offrant de ce fait, un champ d'exposition au soleil plus large que le mois précédent. Dans ces conditions et selon les résultats des simulations des coefficients d'ombrages des salles de classe des quatre types de CEM pour le mois considéré, présentés dans la figure VI.87, on peut conclure que :

- Les coefficients d'ombrage des quatre types de CEM étudiés durant le mois de Mars, ne sont pas très différents à ceux du mois précédent, en effet :

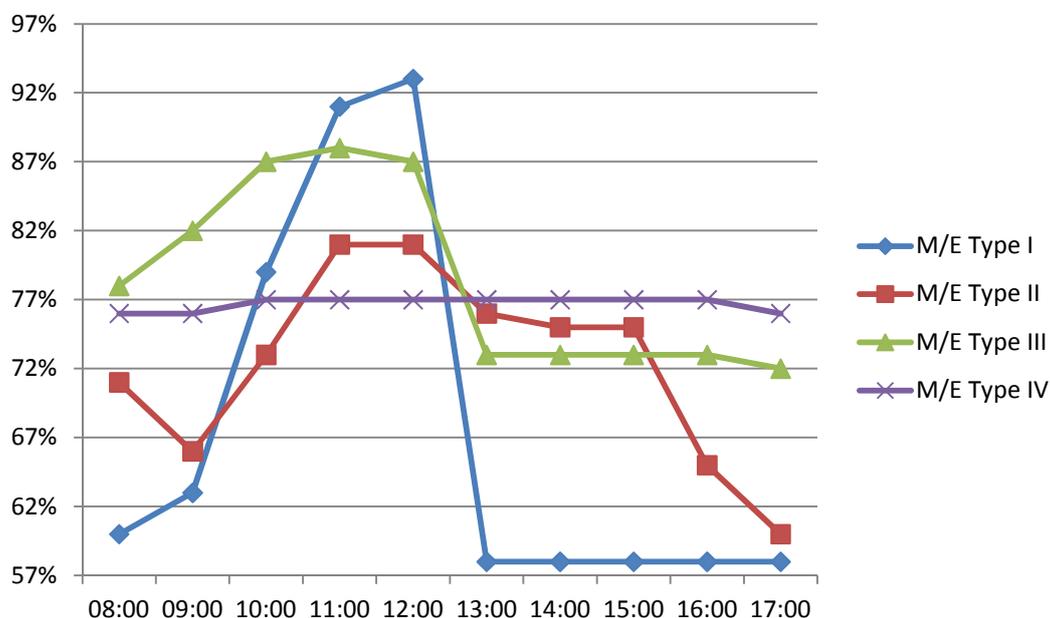


Figure VI.87. Coefficients d'ombrages des quatre types de CEM durant le mois de Mars selon l'orientation Est.

Pour le type I :

- Le coefficient d'ombrage de ce type augmente pendant la matinée où il passe de sa valeur minimale de 60% atteinte à 8h : 00 jusqu'à sa valeur maximale de 93% atteinte à midi. A partir de cette heure, le coefficient d'ombrage est quasiment constant où il garde la valeur de 58%.

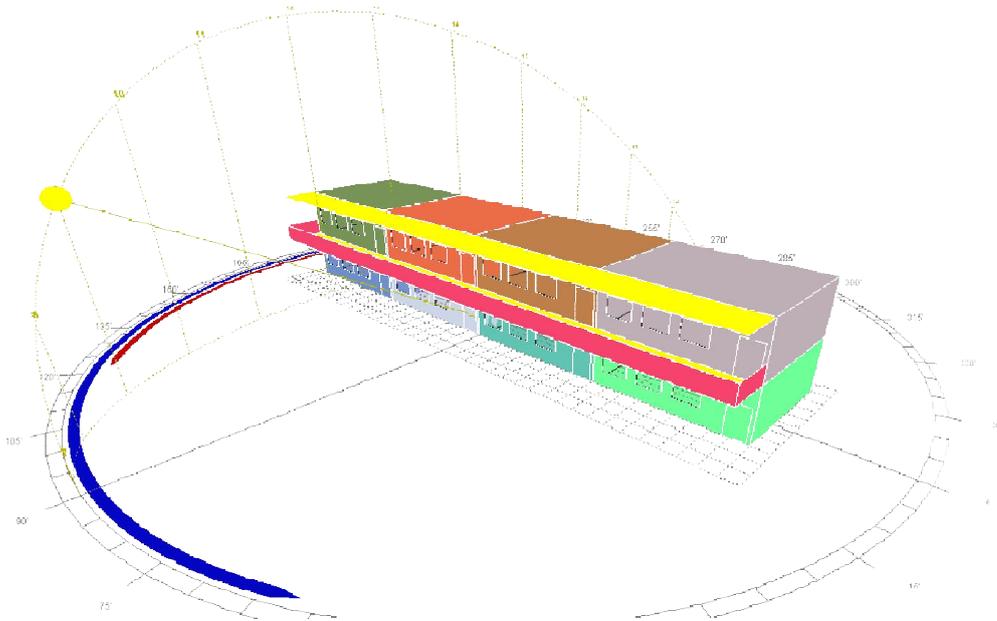


Figure.VI.88. Vue tridimensionnelle du type I, orienté vers l'Est ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Mars.

- L'angle que fait le soleil par rapport à ces dispositions, permet d'atteindre les profondeurs des salles de classe,
- Pour cette disposition présentée dans la figure VI.88, on peut dire que le soleil touche les façades orientées vers l'Est la matinée en provenance du Sud-Est, et les façades orientées vers l'Ouest à l'après midi en provenance du Sud-Ouest. Dans ces conditions, le soleil pénètre à l'intérieure des salles de classe durant toute la journée. Il pénètre à travers les façades orientées vers l'Est dans la matinée et les façades vers l'Ouest à l'après midi, offrant ainsi, une tache solaire répartit sur toute les surfaces des salles avec une durée maximale de quatre heures (04 heures).
- Pour ce mois et selon l'orientation considérée, on peut dire que toutes les salles sont ensoleillées avec une tache solaire qui se répartit sur toute la surface de chaque salle.

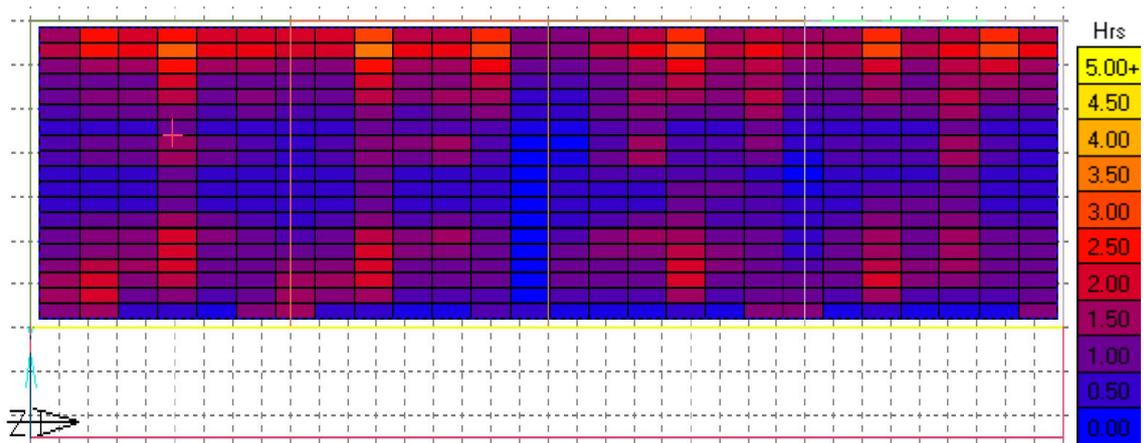


Figure VI.89. Cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Mars pour le type I, avec une orientation Est du corridor.

Pour le type II :

- Le coefficient d'ombrage de ce type oscille entre 71% et 60% durant la durée d'étude, ce dernier atteint son maximum de 81 % entre 11h : 00 et midi.
- L'angle que fait le soleil durant la journée du 21 Mars par rapport à la disposition de se type, permet d'atteindre les profondeurs des salles de classe,

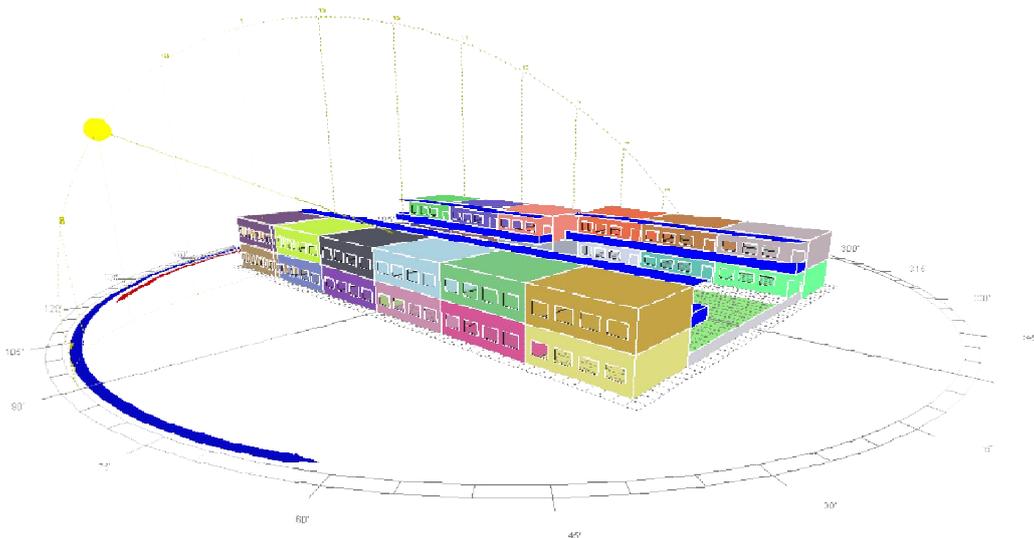


Figure.VI.90. Vue tridimensionnelle du type II orienté vers l'Ouest ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Mars.

- Selon la conception du type II ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Mars, les façades des salles de classe de la deuxième rangée orientées vers l'Est sont en exposition directe avec le soleil en provenance du Sud-Est durant toute la matinée. Ceux de la première rangée orientés vers l'Est seront exposés au soleil en provenance du Sud-Est à partir de 9h : 30 jusqu'à midi. A partir de midi, les façades de la deuxième rangée orientées vers l'Ouest seront exposées au soleil, pour les façades de la première rangée orientée vers l'Ouest, le soleil peut les atteindre à partir de 14h : 45. Ces conditions offrent une tache solaire importante dans les salles de classe de la deuxième rangée répartit presque, sur toute la surface des salles avec une durée maximale de trois heures (03 heures). Pour les salles de la première rangée, la tache solaire se répartit sur une surface moins importante par rapport à celle des salles de classe de la deuxième rangée.
- Les salles de la première rangée situées dans le côté droit de ce type, sont plus ensoleillées par rapport à ceux placées dans le côté gauche,
- Dans les salles de la deuxième rangée, la durée de la tache solaire répartit prêt des façades orientées vers l'Est est plus importante par rapport à celles des façades dans l'orientation est vers l'ouest, c'est-à-dire les façades dotée de corridor, de même, pour les salles de la première rangée, la durée de la tache solaire prêt des façades orientées vers l'Ouest est plus importante par rapport à celle doté de corridor orienté vers l'Est.

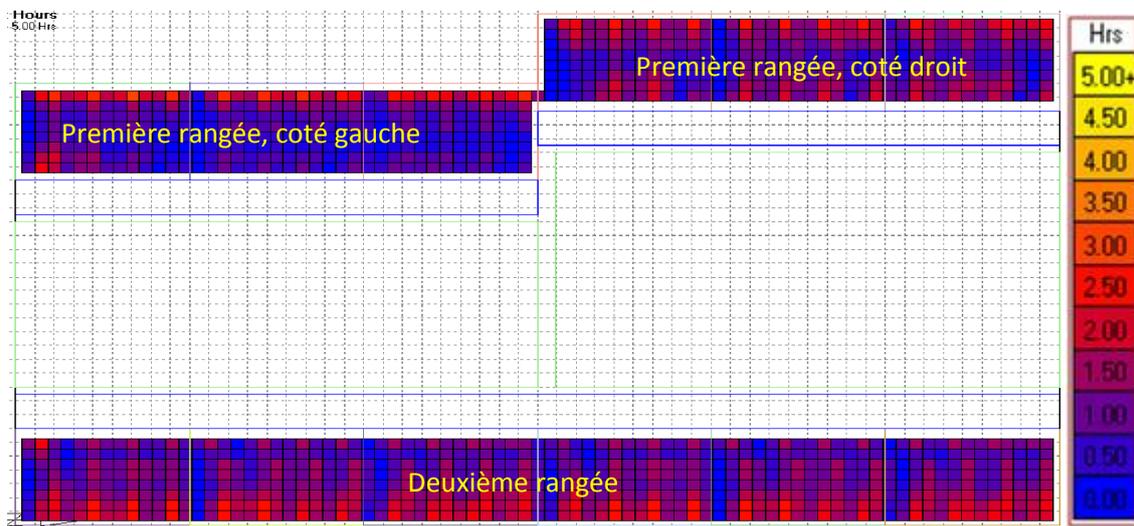


Figure VI.91. Cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Mars pour le type II, avec une orientation Est du corridor.

Pour le type III :

- Le coefficient d'ombrage de ce type selon l'orientation Est pour le mois considéré est presque le même à celui du mois de décembre présenté précédemment. Sa valeur augmente de 78 % atteinte à 8h : 00 à son maximum de 88% à 11h : 00. A partir de 13h : 00, le coefficient d'ombrage garde la même valeur de 73 %.

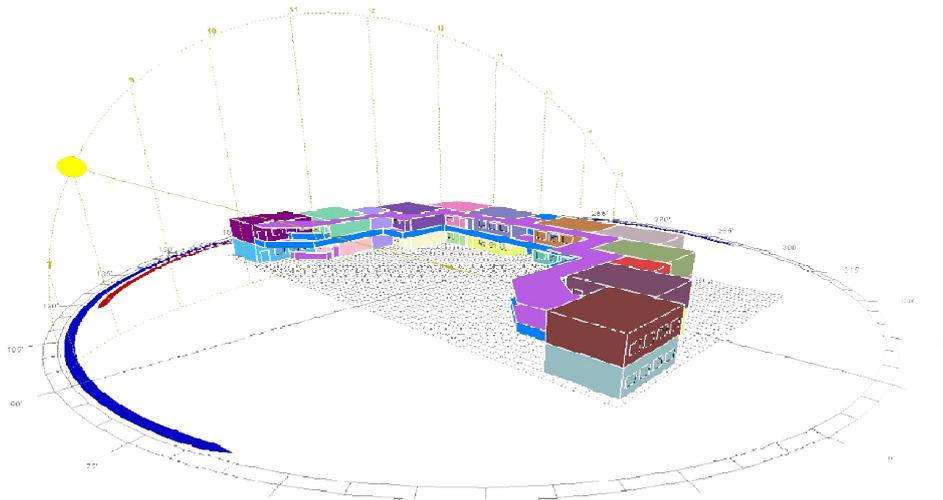


Figure.VI.92. Vue tridimensionnelle du type III orienté vers l'Est ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Mars.

- Selon la répartition bidimensionnelle de l'ensoleillement présentée dans la figure VI.93, on remarque l'absence de la tache solaire à l'intérieure des salles de classe prêt des façades orientées vers l'Est, c'est-à-dire les façades dotés de corridor, malgré leurs expositions directe avec le soleil durant toute la matinée. Ceci est dû à la présence des corridors dans ces façades. Ces derniers et selon les altitudes du soleil durant le mois de Mars, ne permettent pas à la pénétration de l'ensoleillement.
- Les salles supérieures sont les salles les plus ensoleillées, avec une tache solaire réparti sur une surface de 30% et pour une durée maximale qui peut atteindre les deux heures (02 heures). Ces derniers sont en exposition au soleil à partir de midi, à travers les façades en orientation Ouest.
- La répartition de la tache solaire à l'intérieure des salles de classe inférieures, diffère d'une salle à une autre, elle est totalement nulle à l'intérieure de la salle inférieure orientés vers le Nord, alors quelle se répartit sur une surface de 12% dans la salle inférieure orientée vers le Sud.
- Pour le mois de Mars, le type III est le type le moins ensoleillé comparé aux autres types présentés précédemment.

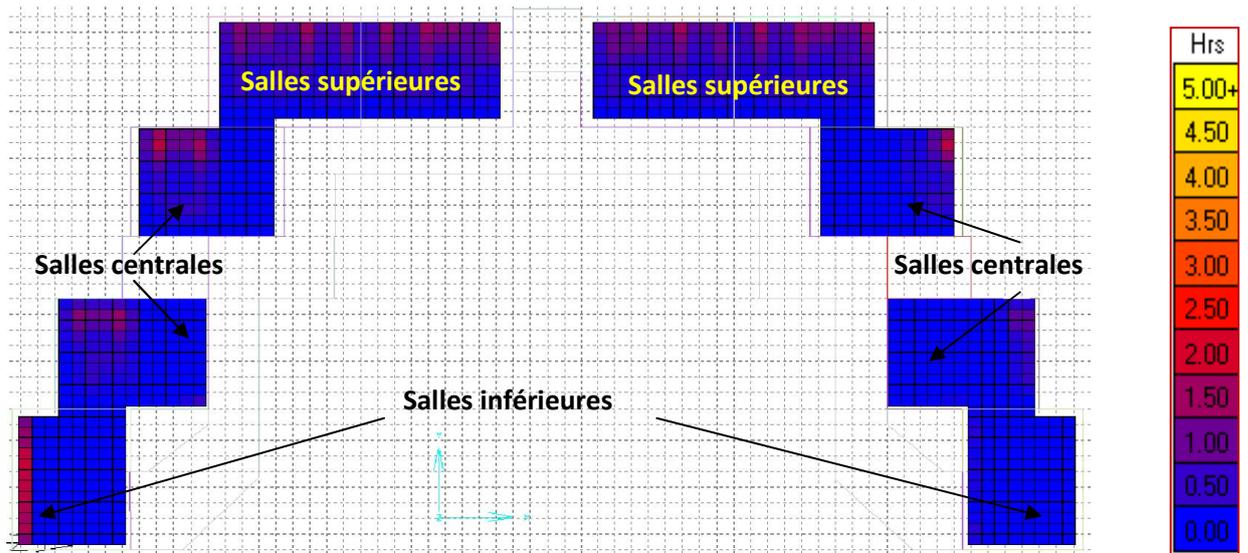


Figure VI.93. Cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Mars pour le type III, avec une orientation Est du corridor.

Pour le type IV :

- Le type IV garde le même coefficient d'ombrage qui est de l'ordre de 77% durant toute la période d'étude. La tache solaire se répartit à l'intérieure de toutes les salles de classe de ce type de CEM, cette tache se concentre prèt des façades en exposition où elle se répartit sur une surface de 40% à l'intérieure des salles orientées vers l'Est et sur une surface de 30% à l'intérieures des salles orientées vers l'Ouest.

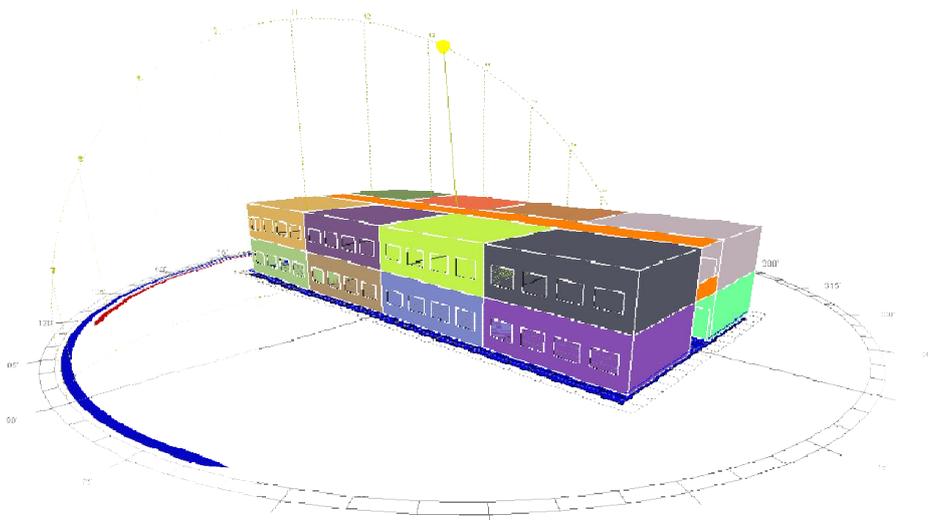


Figure.VI.94. Vue tridimensionnelle du type IV en orientation Est ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Décembre.

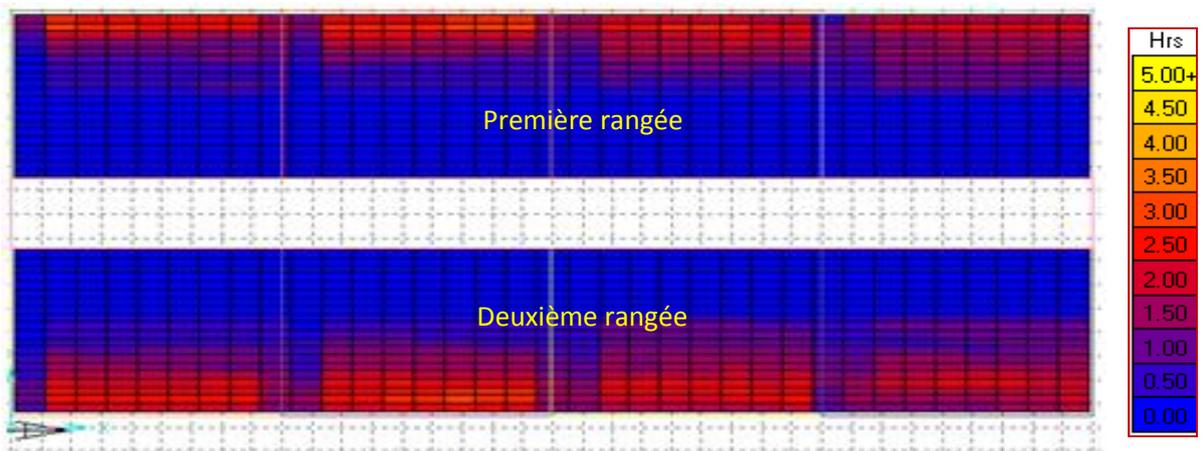


Figure VI.95. Cumul d'insolation entre 8h et 17h du 21 Mars pour le type III, avec une orientation Est du corridor.

- Pour le type et le mois considéré, les salles de classe sont moins ensoleillées par rapport à ceux du mois de Décembre présenté précédemment.
- Les salles de classe de ce type (type IV) sont les plus ensoleillées par rapport aux salles de classe des CEM de type III, mais ils sont les moins ensoleillées par rapport aux salles de classe des CEM de types I et de type II.

D'après les résultats des simulations présentés précédemment, et selon un ordre décroissant du coefficient d'ombrage, on peut dire que les CEM de type I sont les plus ensoleillés, suivie par les CEM de type II, puis les CEM de type IV et enfin les CEM de type III.

La tache solaire Selon la conception de l'ensemble des CEM, pour le mois et l'orientation considérée, ne permet pas d'avoir un ensoleillement réparti d'une manière homogène à l'intérieur des salles de classe.

Malgré les altitudes élevées du soleil durant le mois de mars comparés à celles du mois de Décembre, le soleil pénètre presque tout les salles et il se répartit sur une surface important, ceci peut provoqué des éblouissements aux seins des salles de classes. Ce risque est minime pour les salles de classe des CEM de type III donc ils sont les plus favorable du point de vue ombrage et ensoleillement.

VI.3.3.1.3. Pour le mois de Juin

Ce mois représenté par la journée du 21, est caractérisé par des hauteurs du soleil plus importantes que celles des deux mois précédents. Ce dernier, défini par un champ d'azimut qui va de -118° à $+118^{\circ}$ et des altitudes qui vont de 37° à 08h : 00 à 78° à midi. A partir de ces données et aux résultats des simulations des coefficients d'ombrages des quatre types de CEM présentés dans la figure VI.96, on peut conclure que :

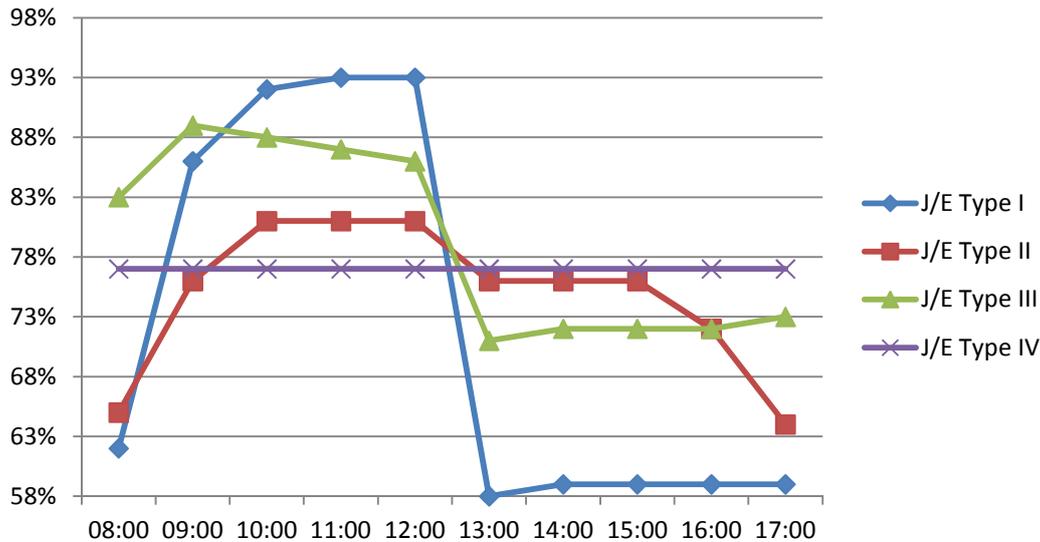


Figure VI.96. Coefficients d'ombrages des quatre types de CEM durant le mois de Juin selon l'orientation Est

Pour le type I :

- Durant la matinée, le coefficient d'ombrage de ce type augmente, il passe de sa valeur minimale de 62% à 8h : 00 jusqu'à sa valeur maximale de 93% atteinte à midi. A partir de cette heure, le coefficient d'ombrage diminue et garde sa valeur minimale de 59%.
- Pour la disposition des salles de classe, ainsi que la trajectoire du soleil durant le mois de Juin présenté dans la figure VI.87, on constate que le soleil touche les façades orientées vers l'Est la matinée en provenance du Nord-Est, et les façades orientées vers l'Ouest l'après midi en provenance du Nord-Ouest.
- Selon la répartition de l'ensoleillement à l'intérieure des salles de classe de type I, on constate que la durée de la tache solaire, réparti sur les façades en orientation Est, est très courte. Ceci est dû à l'effet des corridors placés au-dessus de ces façades, ces

derniers, avec les altitudes du soleil très élevées, occulte les salles de classe durant la matinée.

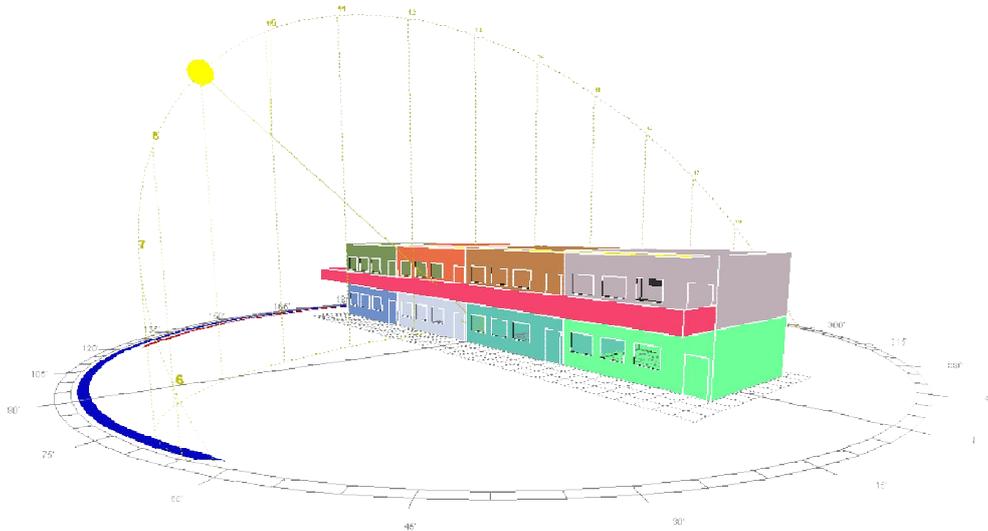


Figure.VI.97. Vue tridimensionnelle des CEM de type I en orientation Est ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Juin.

- La durée de la tache solaire répartit sur les façades en orientation Ouest est plus importante, elle peut atteindre les trois heures et demie.
- Pour le mois de Juin, les salles des classes des CEM de type I sont moins ensoleillées comparées à celles des autres mois.

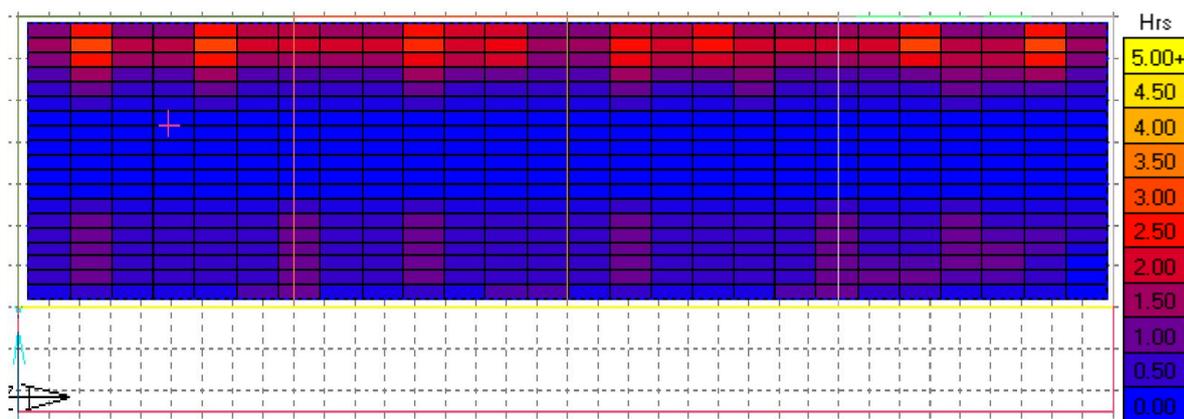


Figure VI.98. Cumul d'ensoleillement entre 8h et 17h du 21 Juin pour le type I, avec une orientation Est du corridor.

Pour le type II :

- le coefficient d'ombrage augmente Durant la matinée, il passe de 65 % atteinte à 8h : 00 à son maximum de 81 % entre 10h : 00 et midi. A partir de midi, le coefficient d'ombrage garde la valeur de 76% durant la tranche horaire allant de 13h : 00 à 15h : 00. Il atteint son minimum de 64 % à 17h : 00.

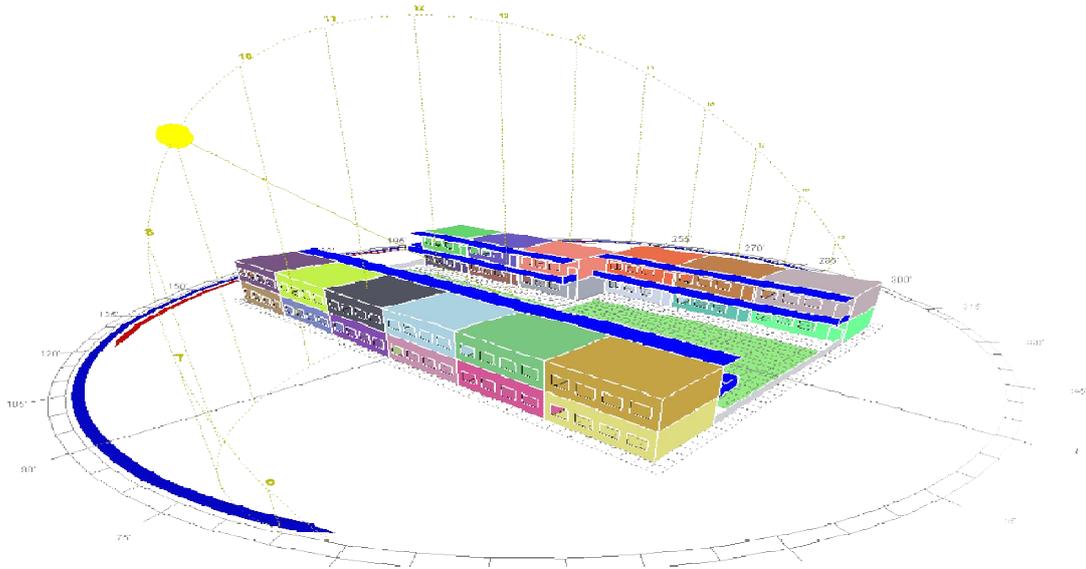


Figure.VI.99. Vue tridimensionnelle du type II en orientation Est ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Juin.

- Pour cette disposition, le soleil touche les façades des salles de la deuxième rangée orientées vers l'Est durant la tranche horaire allant de 8h : 00 à 11h : 00 en provenance du Nord-Est. Les salles de la première rangée orientées vers l'Est sont en exposition durant la tranche horaire allant de 9h : 00 à 13h : 30. A partir de 15h : 00, les façades des salles de la première rangée orientées vers l'Ouest sont en exposition, ceux de la deuxième rangée sont en exposition à partir de 12h : 30.
- La tache solaire dans les salles de classe de type II, se répartit sur une faible surface comparée à celles des deux mois précédents (Mars et Décembre). La durée maximale de la tache solaire peut atteindre les six heures.
- La tache solaire se répartit prôt des façades en exposition, elle est totalement nulle dans les surfaces situées aux centres des salles

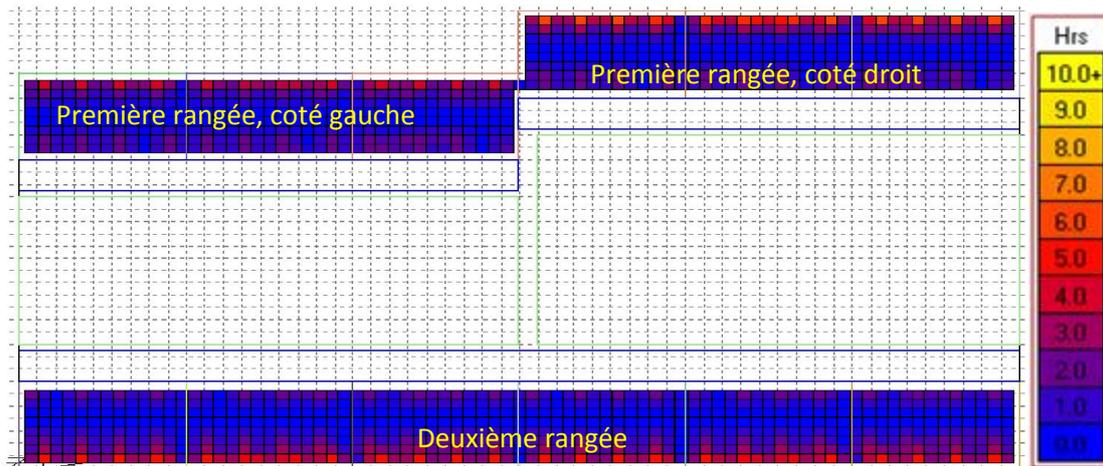


Figure VI.100. Cumul d'insolation entre 8h et 17h du 21 Juin pour le type II, avec une orientation Est du corridor.

Pour le type III :

- Le coefficient d'ombrage atteint la valeur de 83% à 8h : 00. Il diminue de façon linéaire entre 9h : 00 et midi, durant cette tranche horaire, il passe de 89% à 86%, il garde une valeur presque constante autour de 72% à l'après midi.
- Pour la journée du 21 Juin et selon la disposition des salles de classe représentées dans la figure VI.101, le soleil touche les façades orientées vers l'Est la matinée en provenance du Nord-Est. Pour cette disposition, l'insolation ne peut pas pénétrer à l'intérieure des salles à travers ces façades, cela est dû à la présence des corridors placés au dessus de ces façades. A l'après midi, le soleil touche les façades des quatre salles supérieures orientées vers l'Ouest en provenance du Nord-Est offrant ainsi, une tache solaire répartit sur une surface de 33% pour une durée maximale de 3 heures et demi.

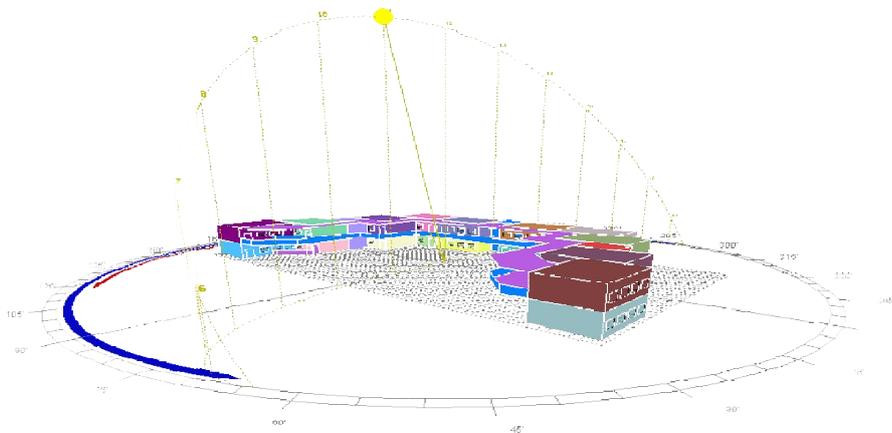


Figure.VI.101. Vue tridimensionnelle du type III en orientation Est ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Juin.

- Pour les salles centrales, la tache solaire se répartit sur une faible surface près des façades orientées vers l'Ouest. La tache solaire est totalement nulle dans la salle inférieure orientée vers le sud. Pour la salle inférieure orientée vers le Nord, la tache solaire est répartit à l'intérieure sur une surface de 12 %.

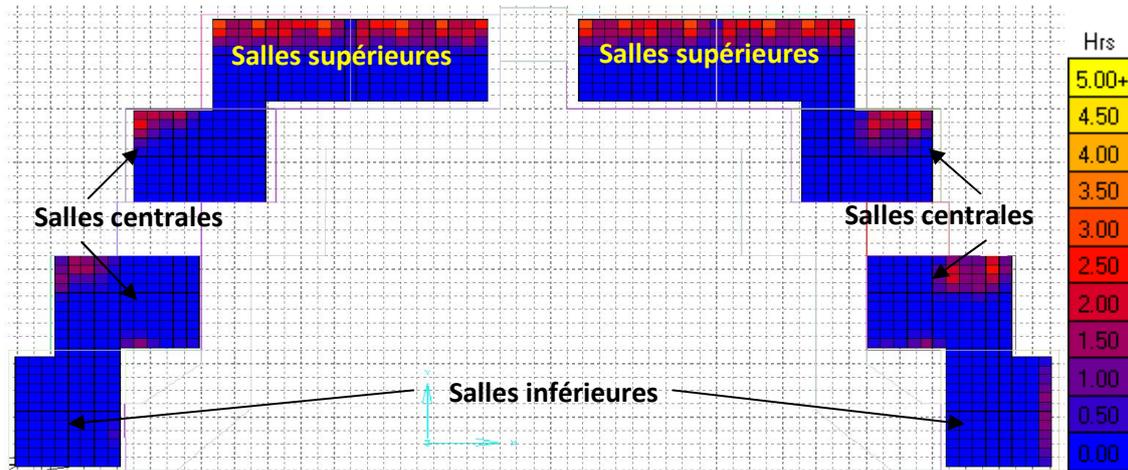


Figure VI.102. Cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Juin pour le type III, avec une orientation Est du corridor.

Pour le type IV :

- Le type IV garde le même coefficient d'ombrage qui est de l'ordre de 77% durant toute la période d'étude.

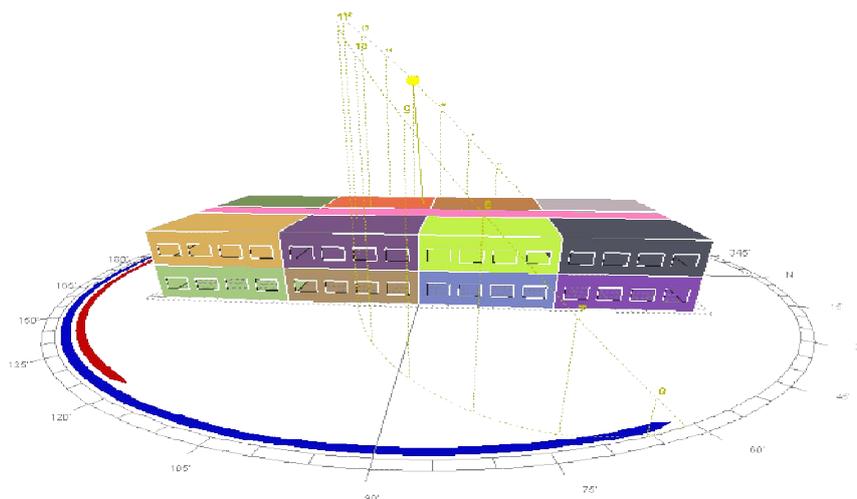


Figure. VI.103. Vue tridimensionnelle du type III en orientation Est ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Juin.

- Selon cette disposition, seul les façades des salles de classe de la deuxième rangée en orientation Est sont en exposition durant la matinée, offrant ainsi, une tache solaire réparti sur les surfaces intérieures des salles près des façades en exposition, la durée maximale de cette tache peut atteindre les quatre heures et demi. A l'après midi, les façades des salles de classe de la première rangée orientées vers l'Ouest sont en exposition offrant ainsi, une tache solaire moins importante, réparti près des façades en exposition. La durée maximale de cette tache peut atteindre les trois heures.
- La tache solaire à l'intérieure des salles des CEM de type IV durant le mois de juin est moins importante par rapport à celles des deux mois précédents (Décembre et Mars).

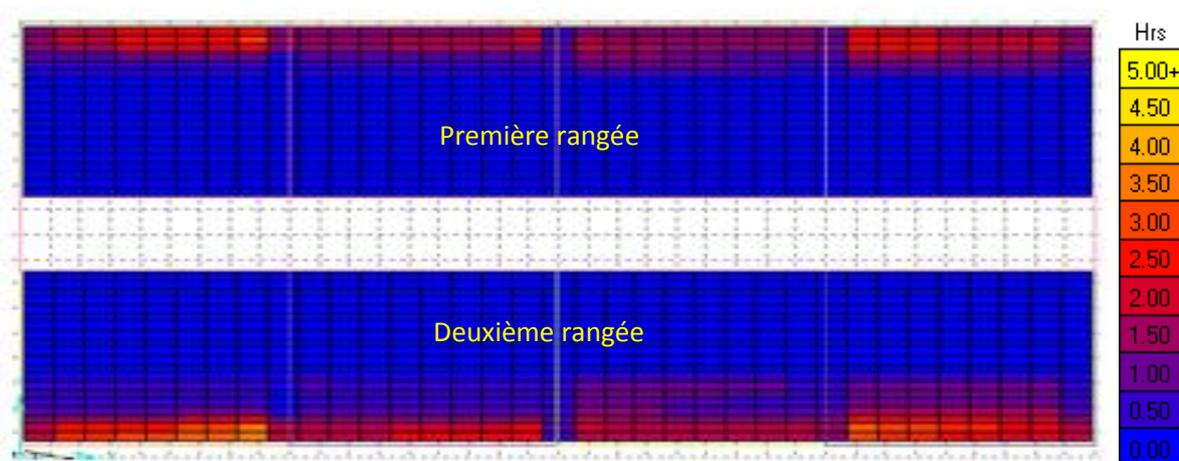


Figure VI.104. Cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Juin pour le type IV, avec une orientation Est du corridor.

Le mois de Juin est caractérisé par un ciel très éclairé par ainsi que des altitudes du soleil plus élevées à celles des mois précédents. Dans ces conditions, le type le plus performant énergétiquement doit avoir un éclairage et un coefficient d'ombrage modéré. Les types de CEM les plus ensoleillés, selon la croissance du coefficient d'ombrage, sont les CEM de type I puis les CEM de type II suivis par les CEM de type IV et enfin les CEM de type III. L'ensemble de ces CEM ne permettent pas d'avoir une tache solaire importante aux seins des salles de classe, cela est due principalement aux altitudes élevées du soleil ainsi à la présence des corridors dans certain cas. Ceci peut être considéré comme un avantage car on peut éviter l'éblouissement à l'intérieure des salles. Par contre aux niveaux des salles supérieurs des CEM de type III, la tache solaire est importante, ceci peut créer un éblouissement à l'intérieure des salles de classe.

VI.3.3.2. TEMPERATURE INTERIEURE

Pour compléter notre étude selon l'orientation Est, nous présentons dans la partie ci-dessous les résultats des simulations de la température aux seins des salles de classe des quatre types de CEM étudiés, pour les trois mois de références représentés respectivement par les journées du 21 Décembre, 21 Mars et enfin celle du 21 Juin.

VI.3.3.2. 1. Pour le mois de Décembre

- Caractérisé par températures plus basses comparées à celles des autres mois. La température augmente de $9,9^{\circ}\text{C}$ à son maximum de $13,3^{\circ}\text{C}$ durant la tranche horaire allant de 8h : 00 à 15h : 00. à partir de 15h : 00, la température diminue pour atteindre la valeur de 12°C à 17h : 00.
- Pour le mois considéré, les résultats des simulations présentés dans la figure VI.105 ont montrés que les températures à l'intérieures des salles des quatre types de CEM sont plus basses à celle de l'extérieure, créant ainsi, des gradients de température positif (Figure IV.106) est par conséquent, le transfert de chaleur par conduction est orienté de l'extérieur vers l'intérieur.
- Les températures à l'intérieures des salles ne varient pas d'une manière importante, en effet, l'écart maximale de la température à l'intérieure des salles durant la tranche horaire d'étude est minime, il est de : $0,9^{\circ}\text{C}$ pour le type I, 1°C pour le type II, $0,8^{\circ}\text{C}$ pour le type III et enfin de 1°C pour le type IV.

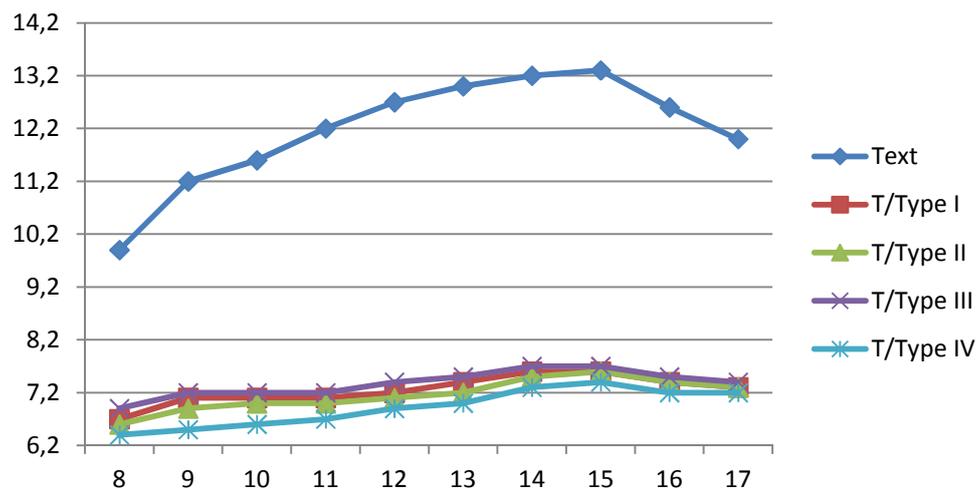


Figure VI.105. Température à l'extérieure et températures à l'intérieure des salles des quatre types de CEM pour la journée du 21 Décembre.

- A 8h : 00, la température extérieure est minime avec une valeur de 9,9°C, à cette heure, les températures à l'intérieures des salles des quatre types de CEM sont aussi les plus basses.
- La valeur maximale de la température extérieure de 13,3 °C est atteinte à 15h :00. A cette heure, les températures à l'intérieure des salles atteint leurs maximum, en effet :
 - o le type I atteint la valeur maximale de 7,6°C entre 14h : 00 et 15h : 00,
 - o le type II atteint une valeur maximale de 7,6°C à 15h : 00,
 - o le type III atteint une valeur maximale de 7,7°C entre 14h : 00 et 15h : 00,
 - o enfin le type IV avec une valeur maximale de 7,4 à 15h : 00.

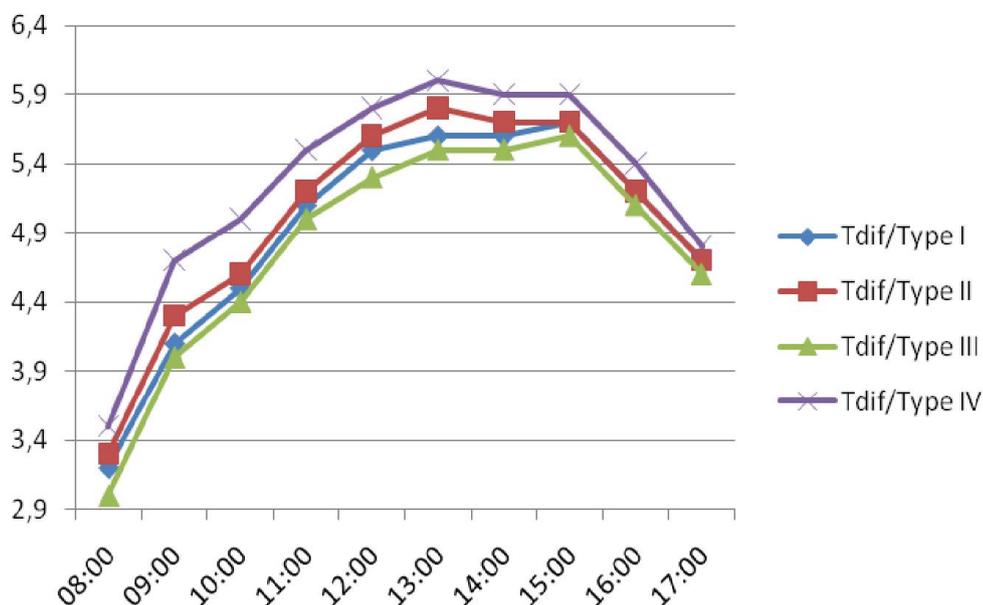


Figure VI.106. Gradients de températures des quatre types de CEM pour la journée du 21 Décembre.

- la valeur maximale des gradients des températures des quatre types de CEM est atteinte à 13h :00, c'est-à-dire à l'heure où la température extérieure est maximale. Selon l'évolution des gradients pour la journée considérée, on peut classer les quatre types de CEM selon un ordre décroissant du gradient comme suit :
 - o Le type IV avec un maximum de 6 °C,
 - o Le type II avec un maximum de 5,8°C,
 - o Le type I avec un maximum de 5,6 °C,
 - o Le type III avec un maximum de 5,5 °C.

- Selon la classification des gradients de la température présenté précédemment, on peut dire que les salles des CEM de type IV, sont les salles les plus froides, suivies par les salles des CEM de type II, puis les salles des CEM de type I et enfin les salles de classe des CEM de type III :

(Type IV \longrightarrow Type II \longrightarrow Type I \longrightarrow Type III).

VI.3.3.2. 2. Pour le mois de Mars

- Selon les résultats des simulations des températures intérieures pour le mois de Mars présentés dans la figure VI.107, on peut dire que l'écart entre la température extérieure et la température intérieure de chaque type est considérable par rapport à celui du mois précédent, ainsi, les gradients des températures des quatre types pour le mois considéré sont plus importants par rapport à ceux du mois de Décembre. De même que précédemment, ces gradients sont toujours positifs offrant ainsi, un transfert de chaleur par conduction, orienté de l'extérieur vers l'intérieur.
- Les températures intérieures des salles ne varient pas d'une manière importante, l'écart maximale entre les valeurs de la température à l'intérieure des salles de chaque type durant la tranche horaire d'étude est de : 1,2 °C pour le type I, 1,2 °C pour le type II, 1,3 °C pour le type III et enfin de 1,8 °C pour le type IV.

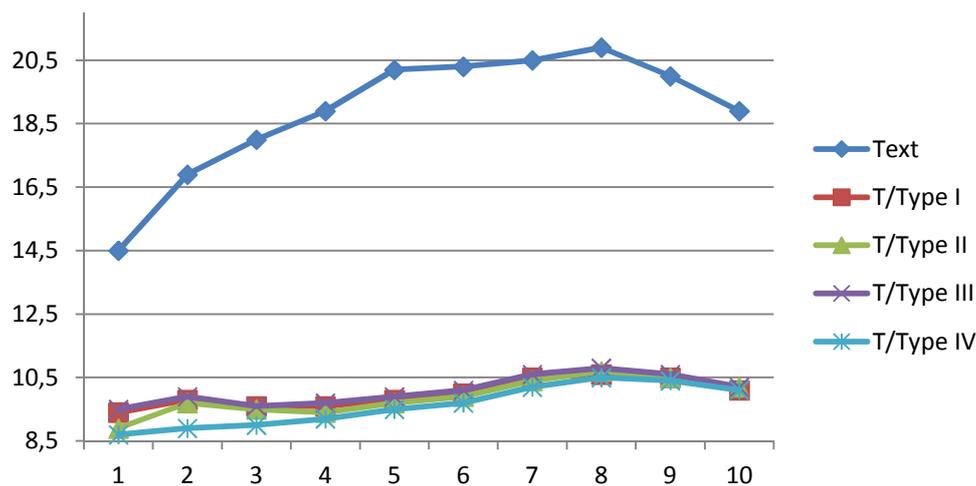


Figure VI.107. Température extérieure pour la journée du 21 Mars et les températures à l'intérieures des salles des quatre types de CEM.

- Pour le mois de Mars, la valeur maximale de la température extérieure de 20,9°C est atteinte à 15h :00. De même que le mois précédent, à cette heure, les températures intérieures sont aussi maximales où chaque type atteint son maximum de :
 - 10,6°C pour le type I,
 - 10,7°C pour le type II
 - 10,8°C pour le type III,
 - 10,8°C pour le type IV.
- Les températures à l'intérieures des salles pour le mois de Mars sont plus importantes par rapport à celle du moi de Décembre.
- Selon les gradients des températures des quatre types de CEM pour la journée du 21 Mars, présentés dans la figure VI.108, on constate que le maximum des températures est atteint à 15h : 00. Selon ces résultats, on peut classer les quatre types selon un ordre décroissant du gradient, comme suit :
 - Le type IV avec un maximum de 10,4 °C,
 - Le type I avec un maximum de 10,3 °C,
 - Le type II avec un maximum de 10,2 °C,
 - Le type III avec un maximum de 10,1°C.
- ***Selon cette classification, on peut dire que les salles des CEM du type IV, sont les salles les plus froides, suivies par les salles des CEM de type I, puis les salles des CEM de type II et enfin les salles des Cem de type III.***

(Type IV → Type I → Type II → Type III).

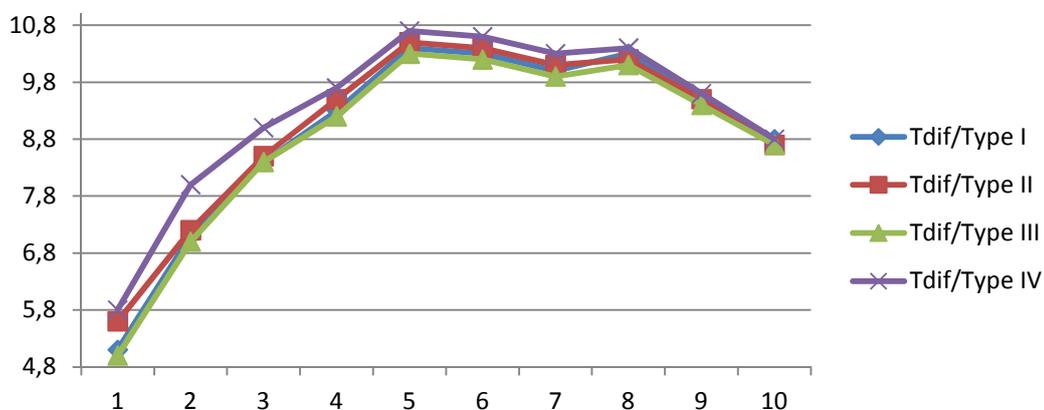


Figure VI.108. Gradients de températures des quatre types de CEM pour la journée du 21 Mars.

VI.3.3.2. 3. Pour le mois de Juin

- Représenté par la journée du 21 de ce mois. Cette journée est caractérisée par des températures très élevées comparées à celles des deux mois précédents. Elle varie entre 33,2 °C et 38,2 °C durant la tranche horaire d'étude en passant par son maximum de 42,2 °C à 14h : 00. Dans ces conditions, les températures intérieures sont les plus élevées comparées à celles des deux mois précédents.
- Selon les résultats des simulations des températures à l'intérieures des salles de chaque type présentées dans la figure VI.109, on remarque que l'évolution de ces températures pendant la matinée diffère à celle des mois précédents, en effet, la température à l'intérieure des salles des quatre types dépasse celle de l'extérieures pendant la tranche horaire allant de 8h :00 à 11h : 00 alors que les températures à l'intérieures des salles pour les mois précédents ne dépasse jamais celle de l'extérieure. A partir de 11h : 00, les températures intérieures des quatre types sont inférieures à celles de l'extérieures.
- Les températures à l'intérieur des salles ne varient pas d'une manière importante, l'écart maximale entre les valeurs de la température à l'intérieure des salles de chaque type durant la tranche horaire d'étude est de : 1°C pour le type I, 1,2°C pour le type II, 1,1°C pour le type III et enfin il est de 1,1°C pour le type IV.

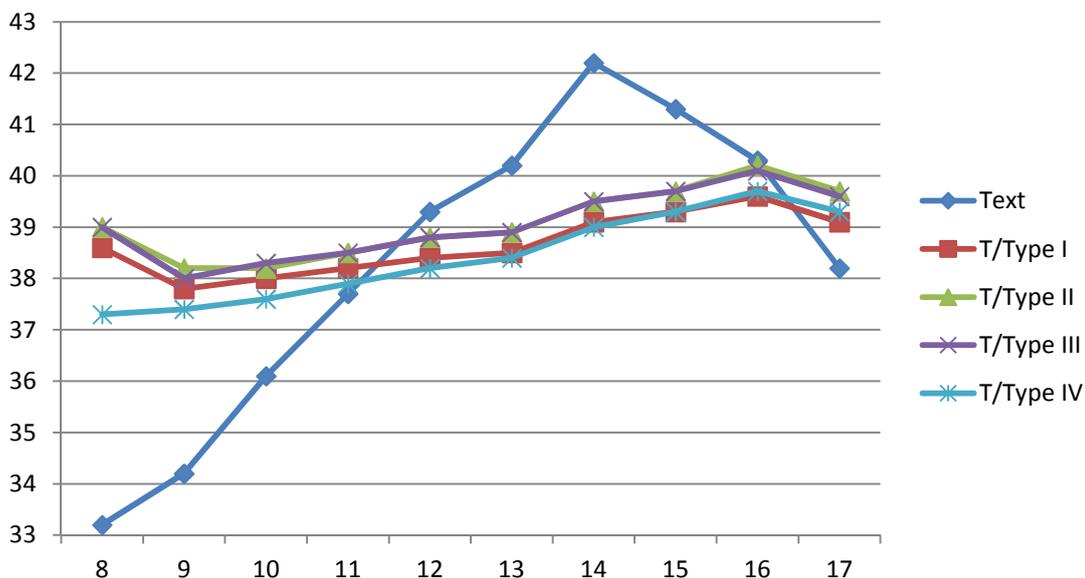


Figure VI.109. Température extérieure pour la journée du 21 Mars et les températures intérieures des salles des quatre types de CEM.

- l'écart entre la température extérieure et la température intérieure de chaque type est moins important par rapport à celui du mois de Mars. Le signe du gradient de température, défini par la différence entre la température extérieure et intérieure, pour le mois considéré diffère de celui des deux mois précédents, là où le signe du gradient est toujours positif. Il est négatif pendant la tranche horaire allant de 8h : 00 à 11h : 00 et même à 17h : 00, dans cette période, le transfert de chaleur par conduction est orienté de l'intérieure vers l'extérieure. Il devient positif entre 11h :00 et 16h : 00, là où le transfert de chaleur par conduction est de l'extérieure vers l'intérieure.
- Pour le mois considéré, la valeur maximale de la température extérieure de 42,2 °C est atteinte à 14h :00. A cette heure, les températures à l'intérieure des salles ne sont pas forcément maximales, la température à l'intérieure des salles des quatre types atteint son maximum à 16h : 00, en effet :
 - Le type I atteint son maximum de 39,6 °C à 16h : 00,
 - Le type II atteint son maximum de 40,2 °C à 16h : 00,
 - Le type III atteint son maximum de 40,1 °C à 16h : 00,
 - Enfin le type IV avec un maximum de 39,7°C.

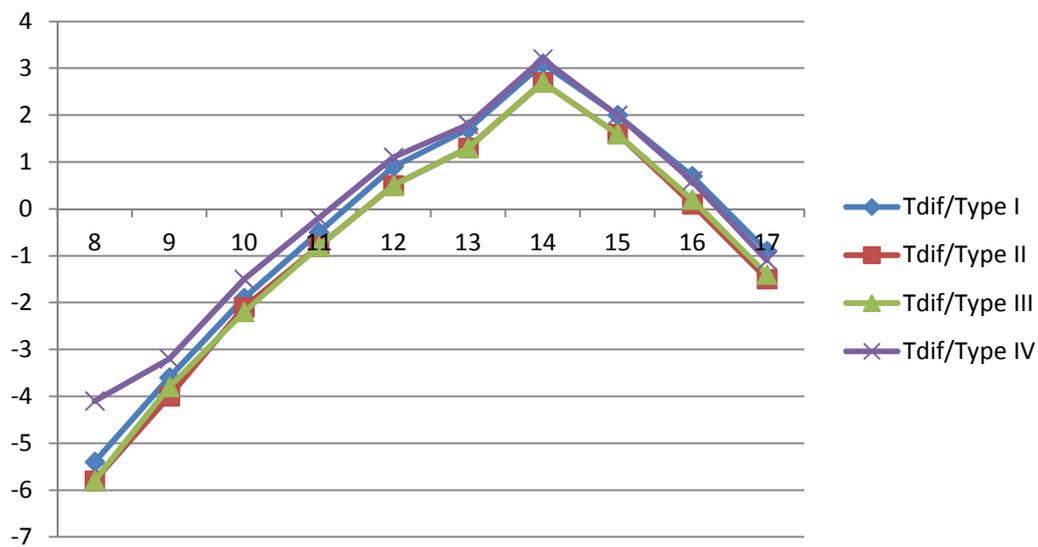


Figure VI.110. Gradients de températures des quatre types de CEM pour la journée du 21 Juin.

- *Selon l'évolution de la température à l'intérieure des salles présenté dans la figure VI.109, on peut classés les quatre types de CEM selon un ordre décroissant comme suit :*
 - *Le type III et le type II avec presque les mêmes températures durant la tranche horaire d'étude, suivie par le type I et enfin le type IV.*
- *Selon cette classification, on peut dire que les salles des CEM du type IV, sont les salles les plus froides, suivies par les salles des CEM de type I, puis les salles des CEM de type II et de types III.*

VI.3.3.3. SYNTHESE DES RESULTATS DES SIMULATIONS SELON L'ORIENTATION EST

VI.3.3.3.1. Pour le mois de Décembre

En comparant les quatre diagrammes des quatre type de CEM avec le diagramme optimal, pour le mois de Décembre et selon l'orientation Est, on peut dire que le diagramme de CEM de type II est le diagramme le plus proche à celui du diagramme optimal avec deux paramètres identiques (ensoleillement et éclairage) et deux paramètres voisins (température et ombrage).

On conclu alors, Pour le mois de Décembre et pour l'orientation Est, les CEM de type II sont les CEM les plus performants énergétiquement.

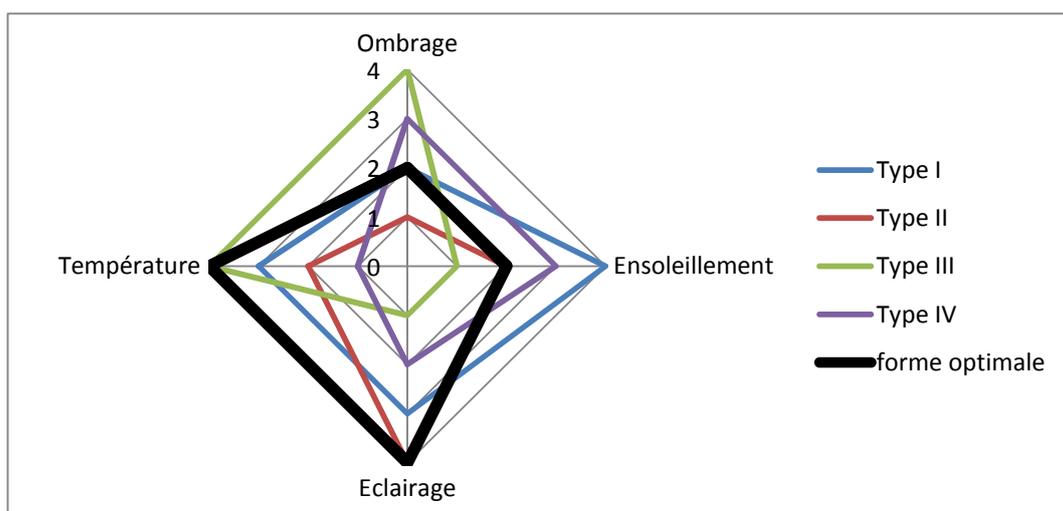


Figure. VI.111. Diagrammes radar des paramètres des quatre types de CEM, ainsi que le diagramme optimal, mois de Décembre.

VI.3.3.3.2. Pour le mois de Mars

En comparant les quatre diagrammes des quatre type de CEM avec le diagramme optimal, pour le mois de Mars et selon l'orientation Est, on peut dire que le diagramme de CEM de type II est le diagramme le plus proche à celui du diagramme optimal avec deux paramètres identiques (ombrage et éclairage) et deux paramètres voisins (température et ensoleillement).

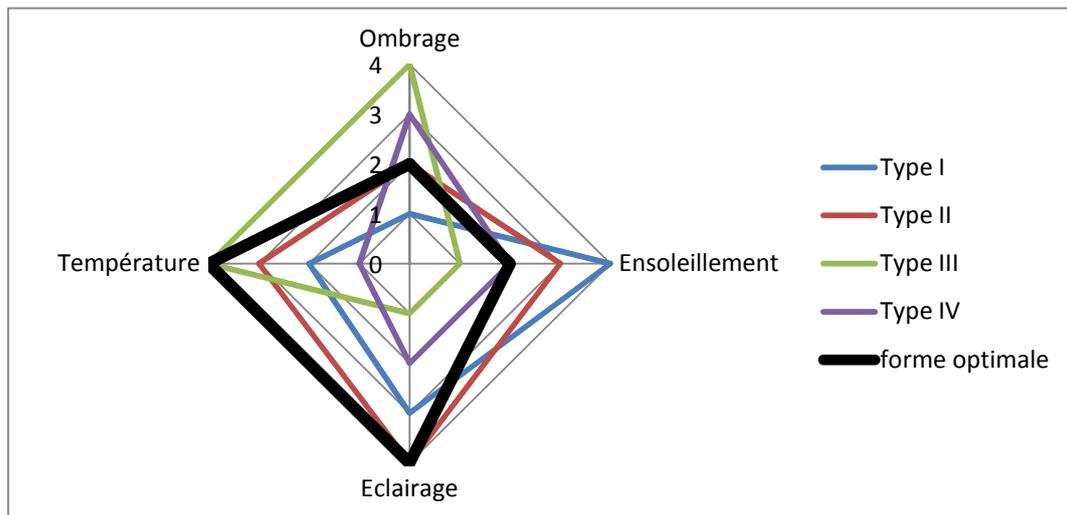


Figure. VI.112. Diagrammes radar des paramètres des quatre types de CEM, ainsi que le diagramme optimal, pour le mois de Mars.

Pour le mois de Mars et pour l'orientation Est, on peut conclure que les CEM de type II sont les CEM les plus performants énergétiquement.

VI.3.3.3.3. Pour le mois de Juin

En comparant les quatre diagrammes des quatre type de CEM avec le diagramme optimal, pour le mois de Juin et selon l'orientation Est, on peut dire que les diagrammes des CEM de type IV et de type II sont les diagrammes les plus proches à celui du diagramme optimal, le type IV avec un seul paramètre identique (températures) et trois paramètres voisins (ombrage, ensoleillement et Eclairage) et le type II avec deux paramètres voisins (ombrage et éclairage) et deux paramètres voisins (Ensoleillement et température).

Pour ce mois, on peut dire que les CEM de type II sont les plus performant avec deux paramètres voisins, pour la température, l'écart maximale entre les températures intérieures

des ces deux types selon l'orientation et le mois considérés et de 1°C, cet écart peut être négligé.

On conclu alors que pour le mois de Juin et pour l'orientation Est, les CEM de type II sont les CEM les plus performants énergétiquement.

Nous concluons ainsi, que les CEM de type II sont les CEM les plus performants énergétiquement selon l'orientation Est.

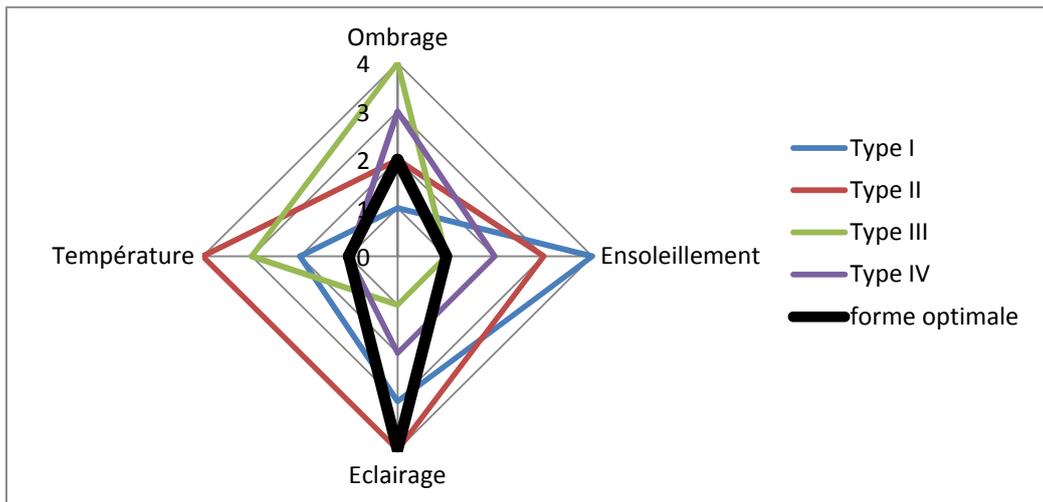


Figure. VI.113. Diagrammes radar des paramètres des quatre types de CEM, ainsi que le diagramme optimal, pour le mois de Juin.

VI.3.4. POUR L'ORIENTATION OUEST

Dans cette dernière partie, nous présentons les résultats des simulations du coefficient d'ombrage, de l'ensoleillement à l'intérieure des salles de classe et enfin l'évolution temporelle de la température aux seins des salles de classe durant la période d'étude, dans le but est d'analyser les performances énergétiques des quatre types de CEM selon l'orientation considérée et pour les trois mois de références représenté respectivement par la journée du 21 Décembre, 21 Mars et enfin celle du 21 Juin.

VI.3.4.1. OMBRAGE ET ENSOLEILLEMENT

VI.3.4.1.1. Pour le mois de décembre

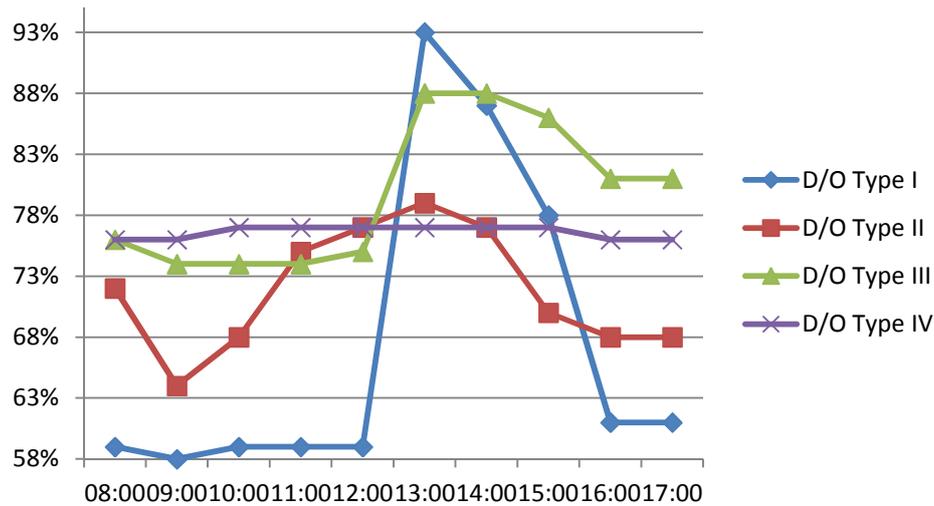


Figure VI.114. Coefficients d'ombrages des quatre types de CEM durant le mois de Décembre selon l'orientation Ouest.

Selon la trajectoire du soleil durant le mois de décembre ainsi qu'aux résultats des simulations du coefficient d'ombrages des salles de classe de quatre types de CEM présentés dans la figure VI.114, on peut conclure que :

Pour le type I :

- Durant la matinée, ce type garde presque le même coefficient d'ombrage de 59%. A 13h : 00, il atteint son maximum de 79 %. A partir de cette heure, il décroît pour atteindre la valeur de 61 % à 17h : 00.
- Selon la disposition de ce type présenté dans la figure VI.115, les façades orientées vers l'Est sont exposées au soleil en provenance du Sud-Est. Le soleil atteint les façades dont l'orientation est vers l'Ouest à partir de midi. Ce trajectoire du soleil ainsi que la conception de ce type de CEM offre une tache solaire réparti sur toute la surface des salles de classe avec des durées qui peuvent atteindre les trois heures et demi.

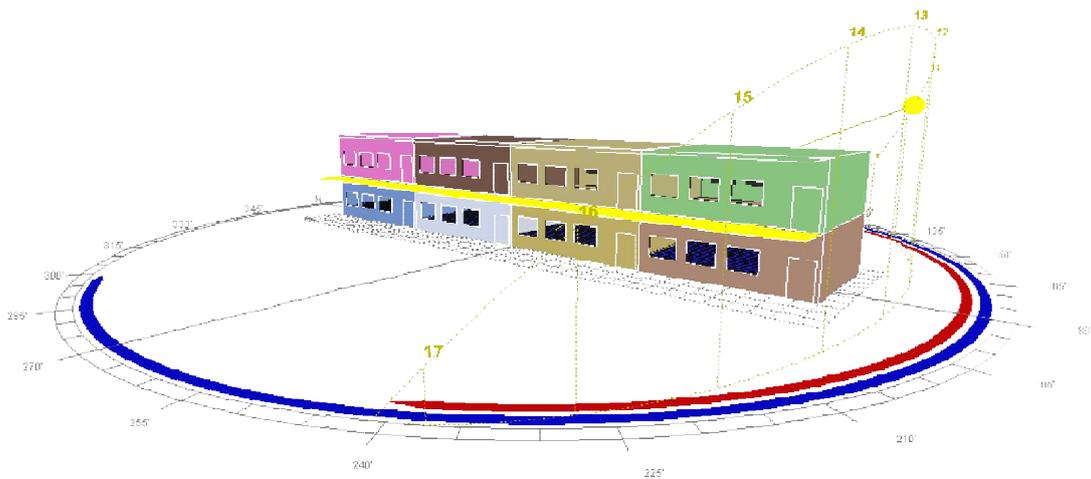


Figure.VI.115. Vue tridimensionnelle du type I en orientation Ouest ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Décembre.

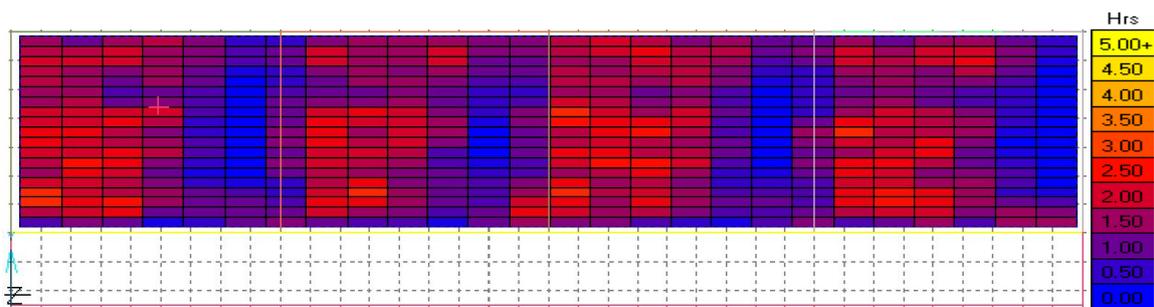


Figure VI.116. Cumul d'enseulement entre 8h et 17h du 21 Décembre pour le type I, avec une orientation Ouest du corridor.

Pour le type II :

- Pour ce type, le coefficient d'ombrage oscille entre 72 % et 68 % entre 8h : 00 et 17h : 00 en atteignant son maximum de 79% à 13h : 00.
- La disposition considérée de ce type permet au le soleil en provenance du Sud-Est de touché les façades des classes de la première rangée orientées vers l'Est durant la matinée. Ce dernier, atteint les façades des classes de la deuxième rangée orientées vers l'Est entre 10h : 00 et 13 : 00. Pour les façades orientées vers l'Ouest, le soleil touche ceux de la première rangée entre midi et 15h : 00 et pour ceux de la deuxième rangée, ils seront exposés au soleil à partir de 15h : 00. Cette disposition de CEM, ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée considérée, offrent une tache solaire rangée sur une surface importante à l'intérieures de toutes les salles de ce type de CEM.

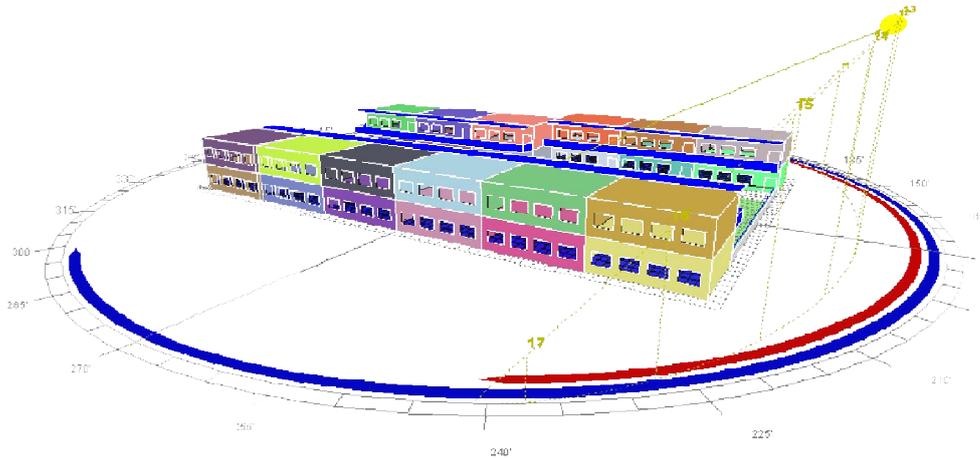


Figure.VI.117. Vue tridimensionnelle du type II en orientation Ouest et ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Décembre.

- La tache solaire à l'intérieure des salles de la première rangée du coté droit est la plus importante, elle se répartit sur une surface qui peut atteindre les 84% avec une durée maximale de trois heures. L'enseillement dans les salles de la première rangée du coté gauche est moins important, dans ces salles, la tache solaire se répartit sur une surface de 69%. La tache solaire dans les salles de la deuxième rangée est plus importante dans les trois salles en orientation Sud par rapport à ceux orientées vers le Nord.

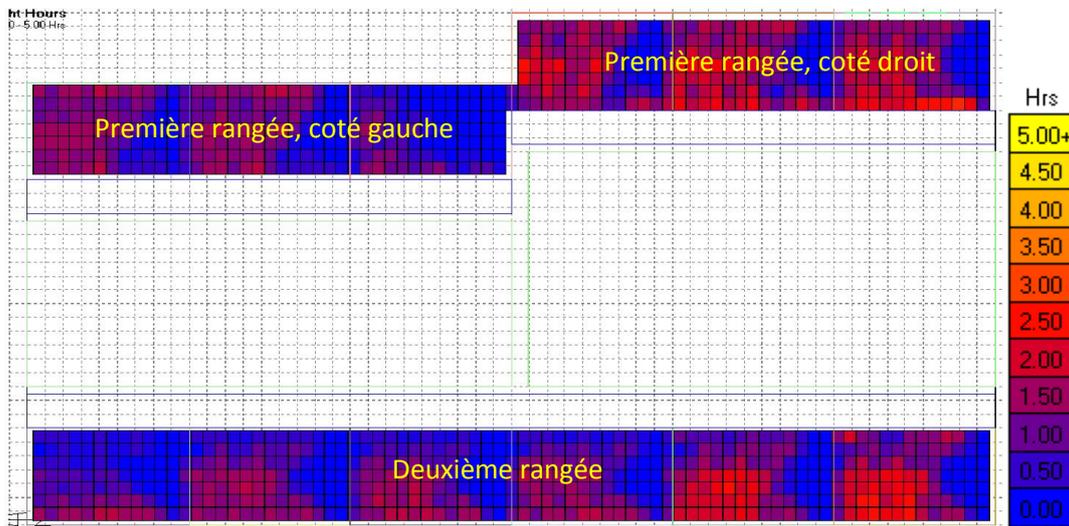


Figure VI.118. Cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Décembre pour le type II, avec une orientation Ouest du corridor.

Pour le type III :

- Le coefficient d'ombrage de ce type varie entre 74% et 76% durant la matinée, il atteint son maximum de 88% entre 13h : 00 et 14h : 00. A partir de cette heure, le coefficient d'ombrage diminue pour atteindre la valeur de 81% à 17h : 00.

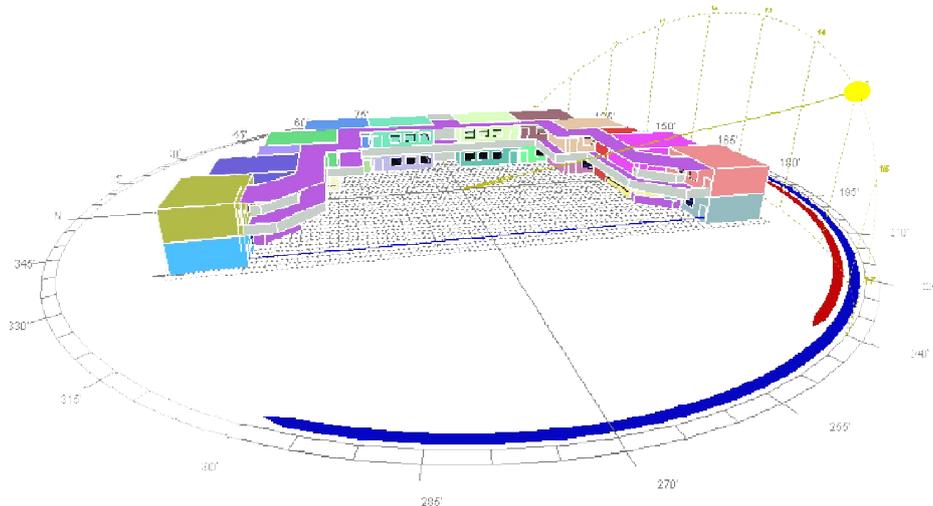


Figure.VI.119. Vue tridimensionnelle du type III en orientation Ouest ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Décembre.

- Le soleil atteint les façades des quatre salles supérieures orientées vers l'Est de 8h : 00 à 11h : 00. Vu la présence des corridors dans les surfaces orientées vers l'Ouest, le soleil peut pénétrer à l'intérieure des salles de ces quatre salles à partir de 15h : 00.
- La tache solaire se répartit à l'intérieure des quatre salles sur une surface plus importante par rapport à celles des autres salles avec une durée maximale de trois heures
- Le soleil touche leurs façades orientées vers l'Ouest à l'après midi offrant une tache solaire réparti sur des faibles surfaces, sauf les salles inférieures orientés vers le Sud où la tache solaire est réparti sur une surface de 37% et qui dure jusqu'à cinq heures.

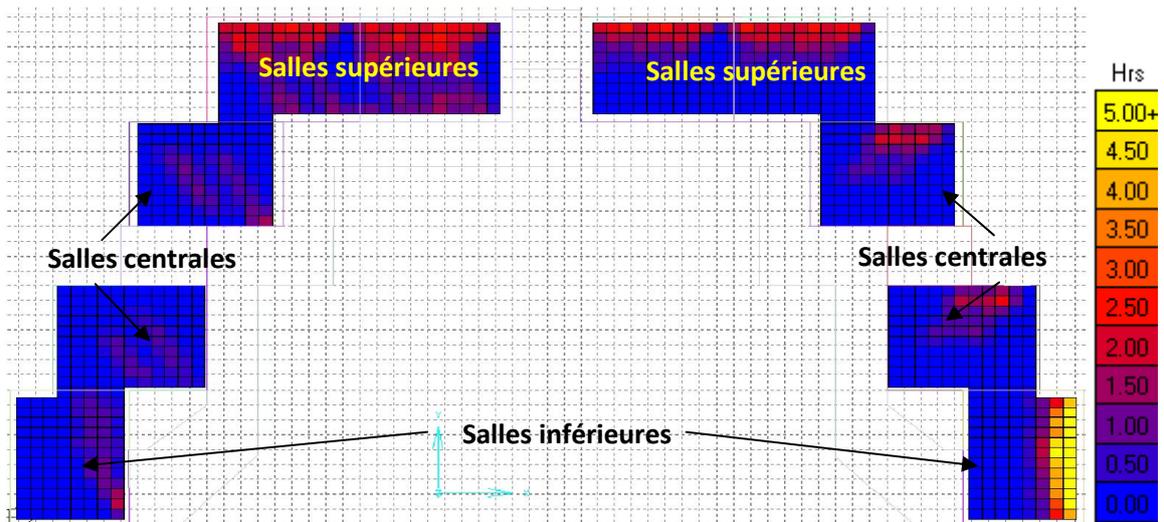


Figure VI.120. Cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Décembre pour le type III, avec une orientation Ouest du corridor.

Pour le type IV :

- Le type IV garde le même coefficient d'ombrage qui est de l'ordre de 76% durant toute la durée d'étude.

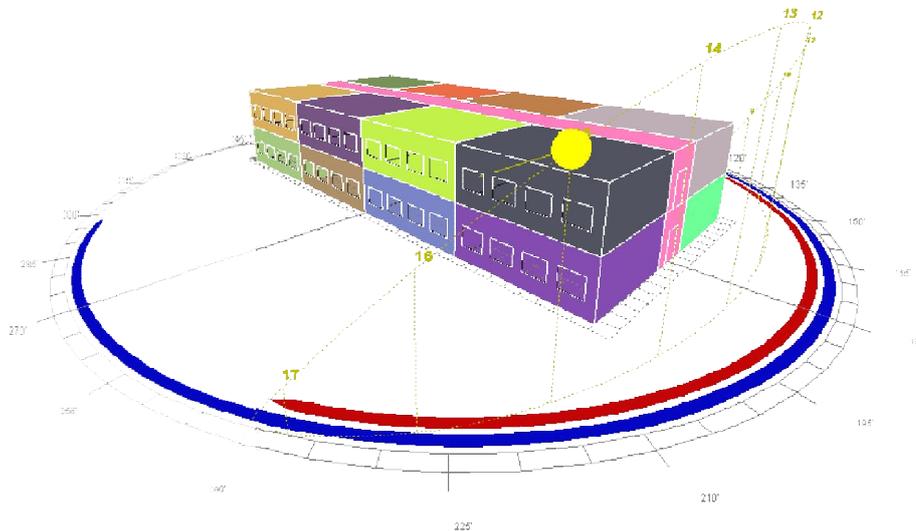


Figure.VI.121. Vue tridimensionnelle du type IV en orientation Ouest ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Décembre.

- Selon la disposition des salles de classe de type IV présenté dans la Figure VI.121, on constate que les façades en orientation Est sont en exposition directe avec le soleil en

provenance du Sud-Est durant toute la matinée, le soleil en provenance du Sud-Est touche les façades orientées vers l'Ouest à partir de 14h : 30. Dans ces conditions, l'enseilllement à l'intérieure des salles en orientation Ouest est plus important par rapport à celui des salles en orientation Est. La tache solaire se répartit dans les salles en orientation Ouest sur une surface de 83 % d'une salle alors quelle est de 55% dans les salles en orientation Est.

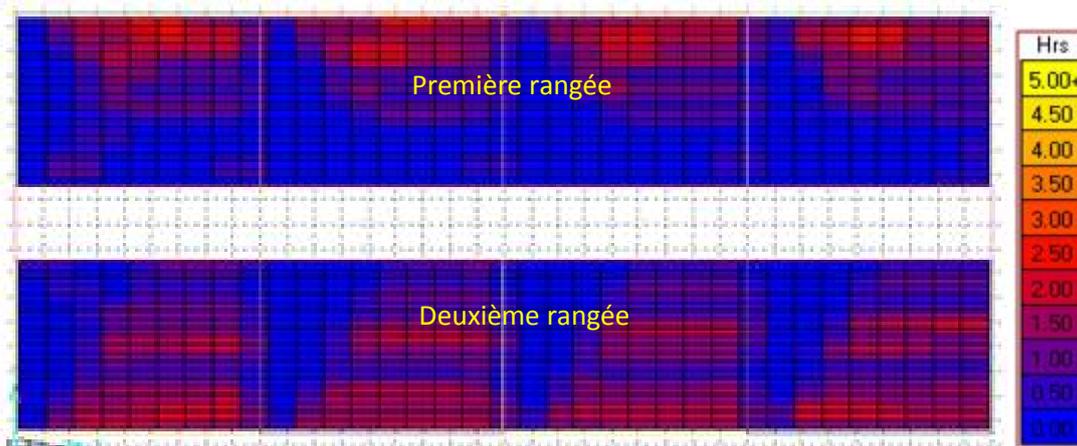


Figure VI.122. Cumul d'enseilllement entre 8h et 17h du 21 Décembre pour le type IV, avec une orientation Ouest du corridor.

Les conditions climatiques ainsi que l'état couvert du ciel durant le mois de décembre, le type le plus performant énergétiquement doit avoir un éclairage optimal, donc un coefficient d'ombrage minime. D'après les résultats des simulations présentés ci-dessus, on peut dire que les CEM de type I sont les plus favorable en terme d'ombrage suivis par les CEM de type II puis les CEM de type IV et enfin les CEM de type III qui sont les CEM les plus ombré donc, les plus défavorable en terme d'ombrage selon le mois et l'orientation considérée.

La tache solaire à l'intérieur des salles de classe pour les quatre types de CEM se répartit sur une surface considérable, elle peut occupée l'ensemble de la surface interne des salles de classes comme par exemple les salles de classe des CEM de type I où type IV. Ceci peut provoquée un éblouissement à l'intérieur des salles.

VI.3.4.1.2. Pour le mois de Mars

Caractérisé par des hauteurs du soleil et des azimuts plus importantes que celles du mois précédent, offrant ainsi, un champ d'exposition au soleil plus large. Dans ces conditions et selon les résultats des simulations des coefficients d'ombrages des salles de classe de quatre types de CEM pour le mois considéré présentés dans la figure VI.123, on peut conclure que :

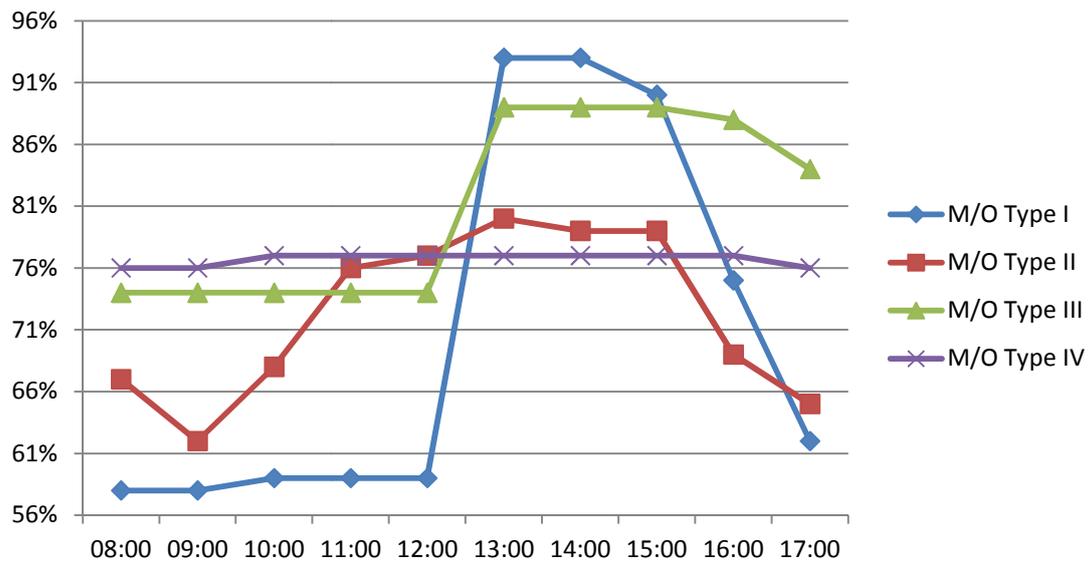


Figure VI.123. Coefficients d'ombrages des quatre types de CEM durant le mois de Mars selon l'orientation Est.

Pour le type I :

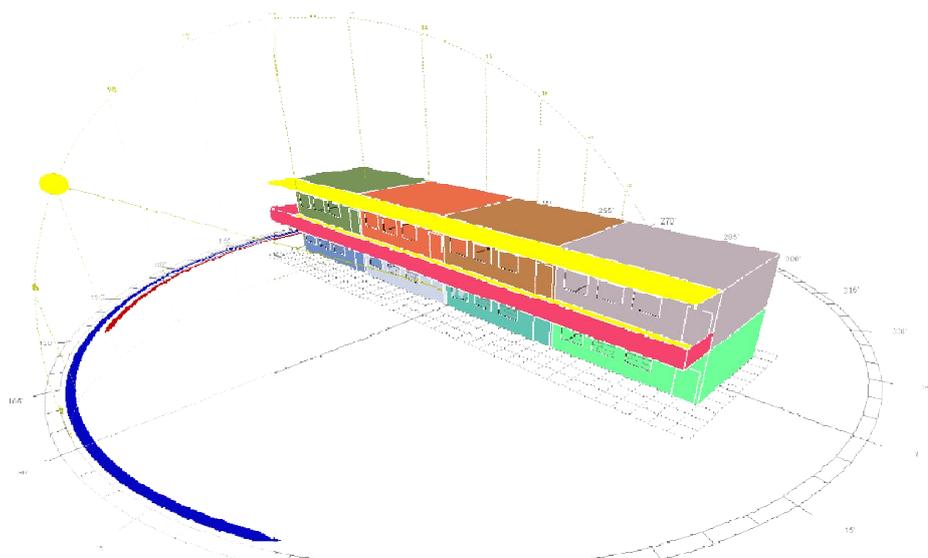


Figure.VI.124. Vue tridimensionnelle du type I orienté vers l'Ouest ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Mars.

- Ce type garde le même coefficient d'ombrage de 59% durant la matinée. Il atteint son maximum de 80% à 13h : 00. A partir de cette heure, Le coefficient d'ombrage diminue pour atteindre la valeur de 65 % à 17h : 00.
- L'angle que fait le soleil par rapport à ces dispositions, permet d'atteindre les profondeurs des salles de classe,
- Pour cette disposition présentée dans la figure VI.124, on peut dire que le soleil atteint les façades orientées vers l'Est la matinée jusqu'à 11h : 00. Le soleil ne peut atteindre les surfaces orientées vers l'ouest, c'est-à-dire les surfaces dotées de corridor qu'à partir de 15h : 00. L'orientation considérée ainsi que la trajectoire du soleil pour le mois de Mars, offre une tache solaire réparti sur toute la surface des salles de classe. La durée maximale de la tache peut atteindre les quatre heures.

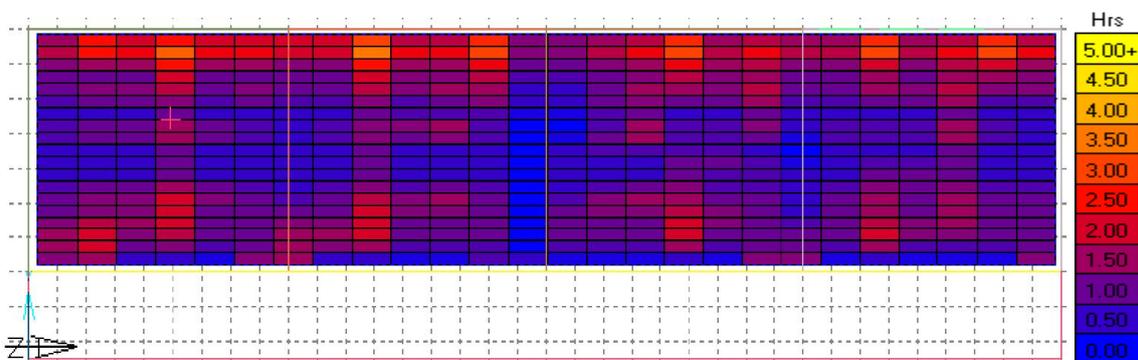


Figure VI.125. Cumul d'enseillement entre 8h et 17h pour la journée du 21 Mars pour le type I, avec une orientation Ouest du corridor.

Pour le type II :

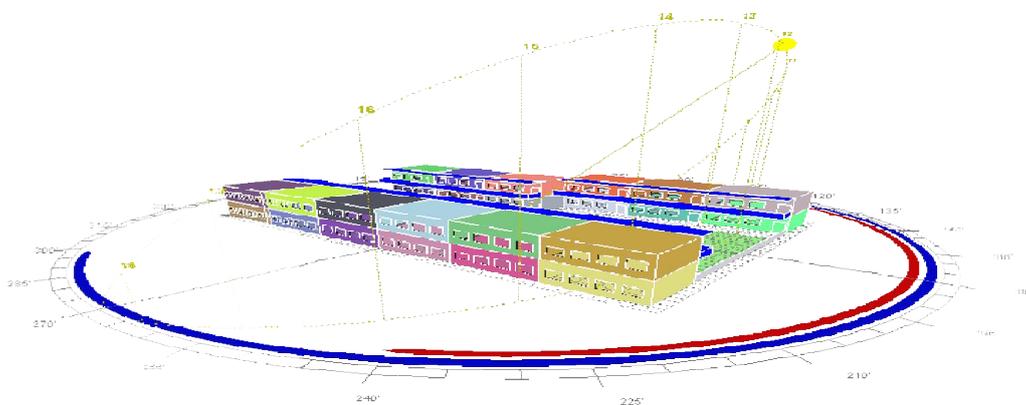


Figure.VI.126. Vue tridimensionnelle du type II orienté vers l'Ouest ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Mars.

- Le coefficient d'ombrage de ce type oscille entre 65% et 67 % durant la durée d'étude, il atteint sa valeur maximale de 80 % à 13h : 00.
- L'angle que fait le soleil durant la journée du 21 Mars par rapport à ces dispositions, permet d'atteindre les profondeurs des salles de classe,
- Selon la disposition considérée ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Mars, les façades des salles de classe de la première rangée, dans l'orientation est vers l'Est sont en exposition directe avec le soleil durant toute la matinée. Pour ceux de la deuxième rangée et dans l'orientation est vers l'Ouest, le soleil peut les atteindre qu'à partir de 14h : 30. Le soleil atteint les façades de la deuxième rangée dans l'orientation est vers l'Est durant la tranche horaire allant de 10h : 00 à 13h : 00. Pour les façades de la première rangée orientée vers l'Est, le soleil peut les atteindre entre 12h : 30 et 16h : 30. Ces conditions offrent une tache solaire répartit près des façades en exposition, elle est totalement nulle sur les surfaces centrales des salles.
- Les salles de la première rangée sont les salles les plus ensoleillées avec une tache solaire répartit sur une surface de 45% et une durée maximale de quatre heures.
- La tache solaire dans les salles de la deuxième rangée se concentre prêt des façades orientées vers l'Ouest avec une durée maximale qui peut atteindre les deux heures et demi. La présence de corridor au dessus des façades des salles de classe de la deuxième rangée, orientées vers l'Est à provoqué une diminution de la tache solaire à l'intérieure.
- Pour ce type de CEM, la tache solaire pour le mois considéré est plus faible à celle du mois précédent.

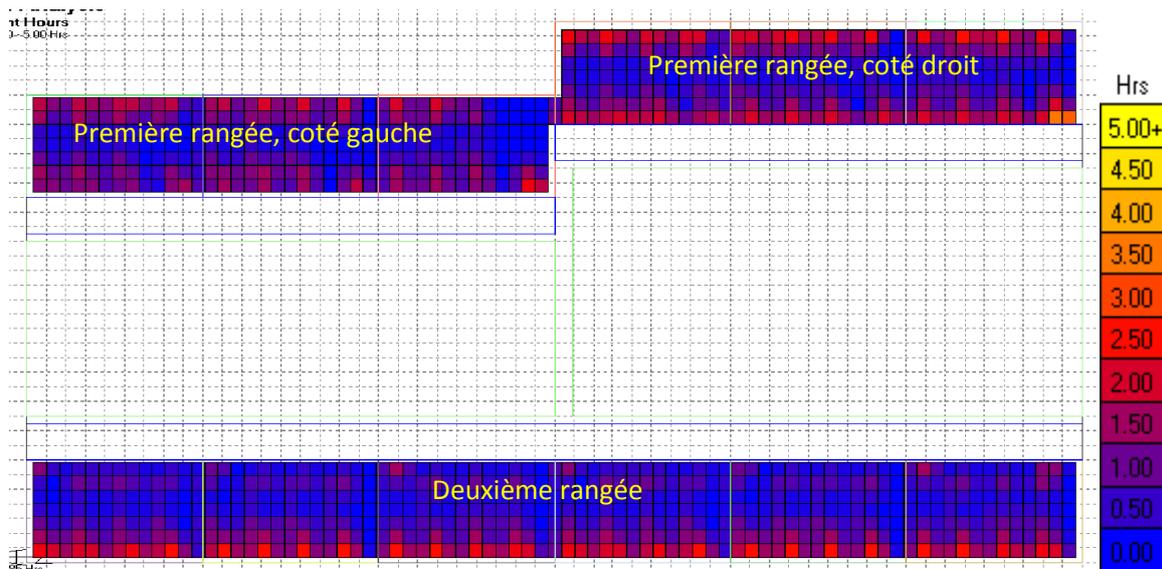


Figure VI.127. Cumul d'enseiement entre 8h et 17h du 21 Mars pour le type II, avec une orientation Ouest du corridor.

Pour le type III :

- Le coefficient d'ombrage de ce type garde la valeur de 74% durant toute la matinée et la valeur de 89% entre 13h : 00 et 15h : 00. Il atteint la valeur de 84% à 17h : 00.
- Pour ce type de CEM et pour le mois considéré, la tache solaire se répartit sur une faible surface à l'intérieure des salles de classe, sauf dans les salles des classes supérieures où la tache solaire occupe une surface de 65%. Dans toutes les salles de classe de ce type de CEM, la durée de la tache solaire est minimale avec un maximum de deux heures.

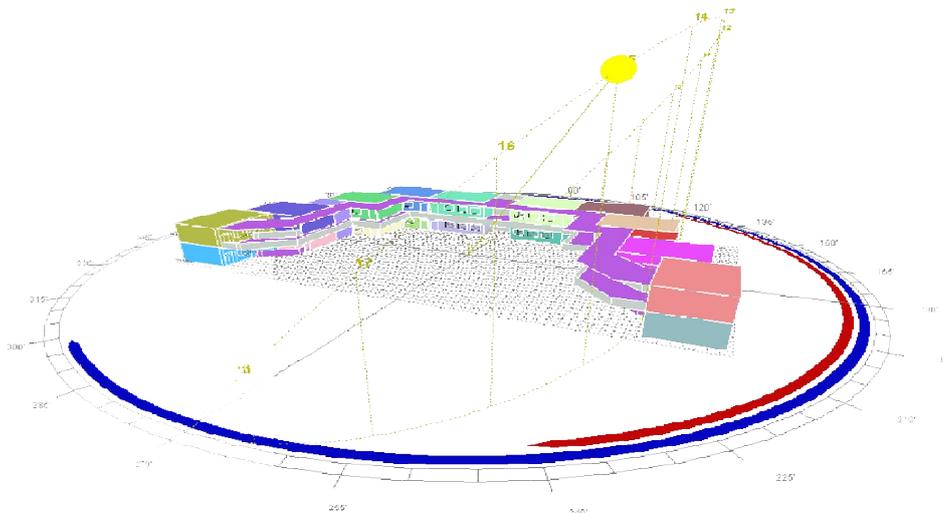


Figure.VI.128. Vue tridimensionnelle du type III orienté vers l'Ouest ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Mars.

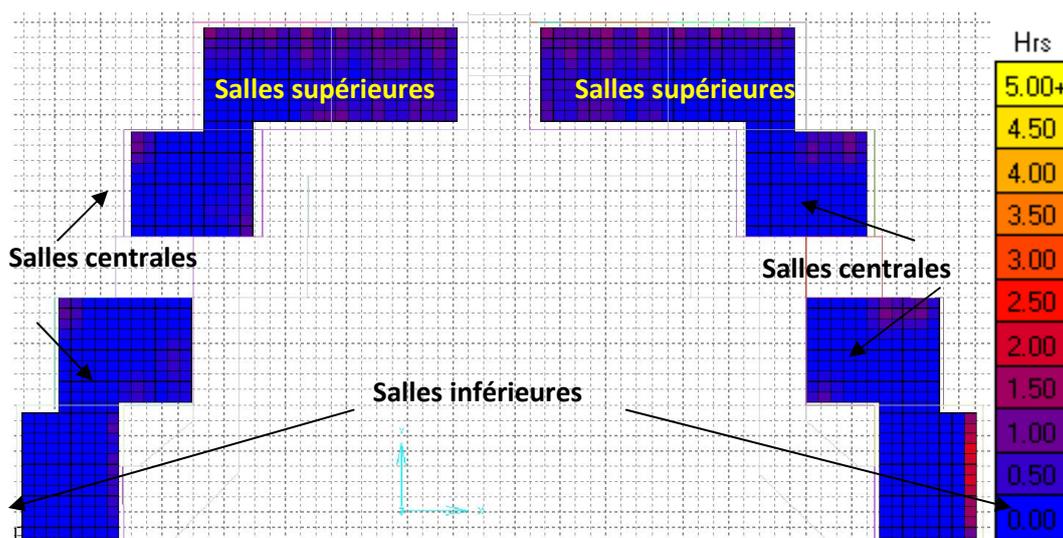


Figure VI.129. Cumul d'ensoleillement entre 8h et 17h du 21 Mars pour le type III, avec une orientation Ouest du corridor.

Pour le type IV :

- Ce type garde le même coefficient d'ombrage qui est autour de 77% durant toute la période d'étude, Selon les résultats de simulation de l'ensoleillement de ce type pour le mois considéré, présentés dans la figure IV.131, on remarque que la tache solaire est répartit à l'intérieure de toutes les salles où elle se répartit sur une surface qui variée entre 30% et 40%, cette tache se concentre prêt des façades en exposition.
- Pour le mois considéré, les salles de classe sont moins ensoleillées durant le mois de Mars par rapport à celui du mois de Décembre. La tache solaire se répartit d'une manière similaire selon les deux orientations, Est et Ouest. Cela est dû principalement à la symétrie de la conception de ce type selon ces deux orientations.

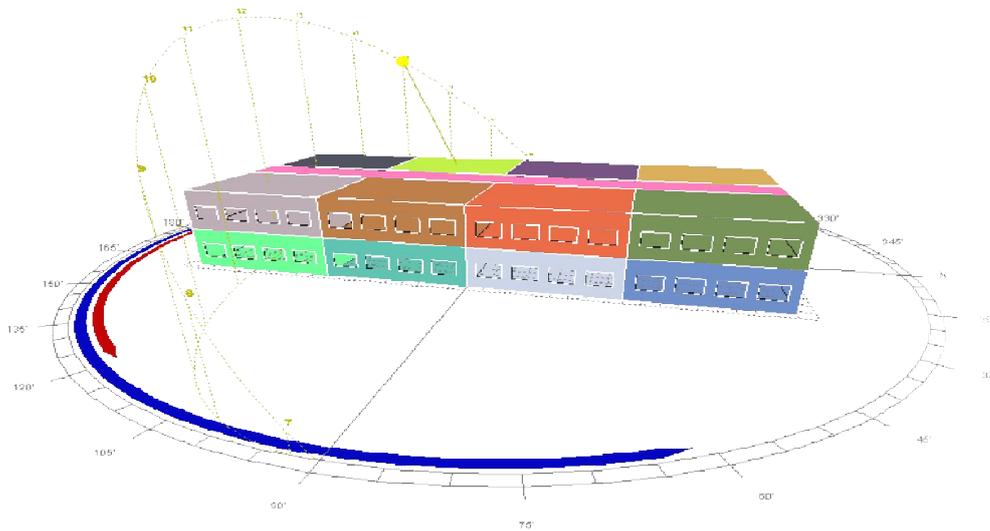


Figure.VI.130. Vue tridimensionnelle du type IV en orientation Ouest ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Mars.

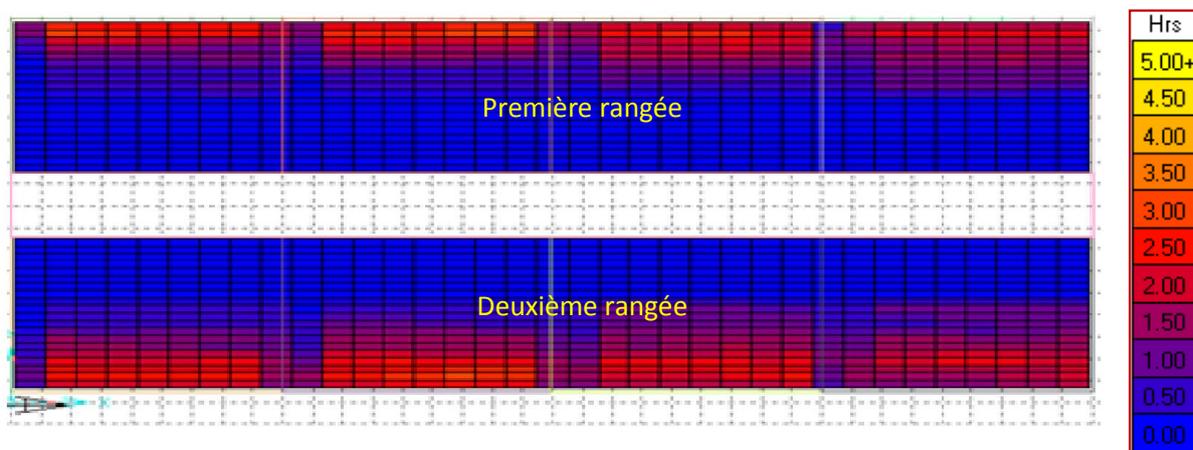


Figure VI.131. Cumul d'ensoleillement entre 8h et 17h du 21 Mars pour le type III, avec une orientation Ouest du corridor.

Le mois de Mars est caractérisé par un ciel plus éclairé à celui du moi précédent. Tenant compte de cette condition, on peut dire que le type le plus performant énergétiquement doit avoir à l'intérieur des salles, un éclairage optimal, donc un coefficient d'ombrage modéré.

D'après les résultats des simulations présentés précédemment, on peut dire que les CEM de type I sont les plus ensoleillés, suivie par les CEM de type II, puis les CEM de type VI et enfin les CEM de type III.

Malgré les altitudes élevées du soleil durant le mois de Mars comparées à celles du mois précédent, la tache solaire peut occuper une grande surface comme le cas des salles de classes de type I où la tache solaire est la plus importante. Comparées aux autres types de CEM durant le mois de Mars et selon l'orientation considérée. Le type III et le type le plus performant du point de vue ensoleillement avec un risque d'éblouissement minime.

VI.3.4.1.3. Pour le mois de Juin

Ce mois représenté par la journée référentielle celle du 21, est caractérisé par des altitudes de soleil et des azimuts plus importantes que celles des deux mois précédents. Selon les résultats des coefficients d'ombrages des quatre types de CEM présentés dans la figure VI.132, on peut conclure que :

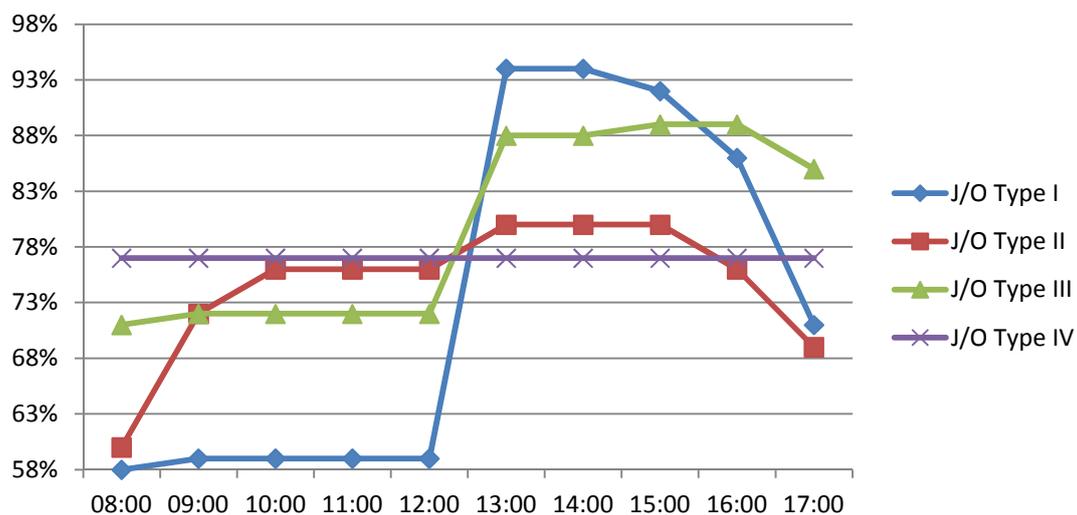


Figure VI.132. Coefficients d'ombrages des quatre types de CEM durant le mois de Juin selon l'orientation Est

Pour le type I :

- Ce type garde le même coefficient d'ombrage durant la matinée avec un coefficient de 59%. Il atteint son maximum de 94% entre 13 et 14h : 00. A partir de 14h : 00, il diminue jusqu'à la valeur de 71% à 17h : 00.
- Pour le mois considéré, les façades des salles orientées vers l'Est sont exposées au soleil de 8h : 00 à 11h : 30. Pour les façades orientées vers l'Ouest, le soleil peut les atteindre qu'à partir de 15h : 00, cela est dû à la présence des corridors placés au dessus de ces façades.

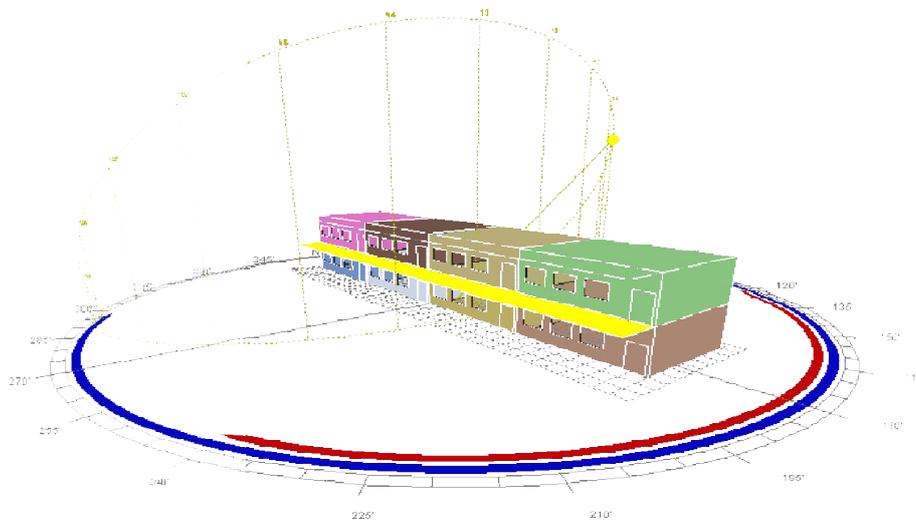


Figure.VI.133. Vue tridimensionnelle du type I en orientation Ouest ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Juin.

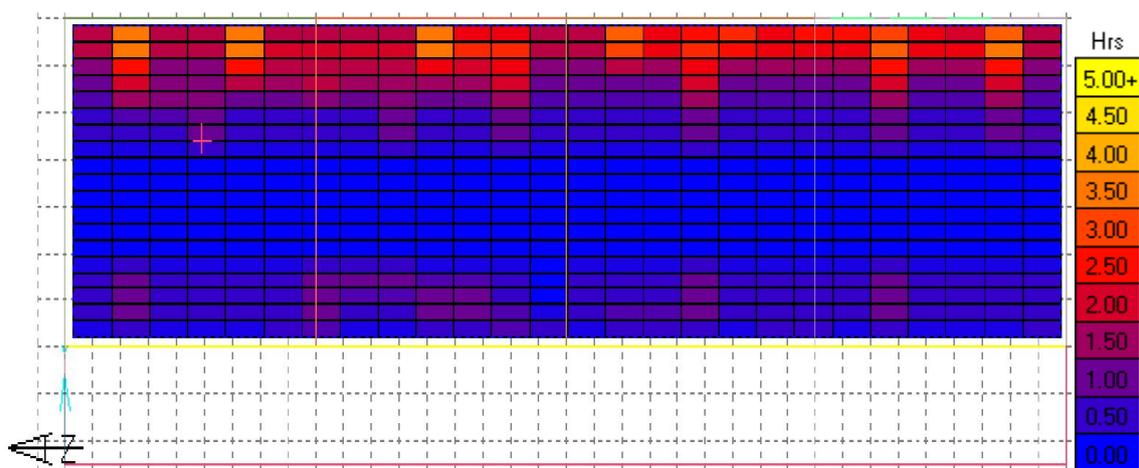


Figure VI.134. Cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Juin pour le type I, avec une orientation Est du corridor.

- La trajectoire du soleil ainsi que la conception de ce type offre une tache solaire réparti prêt des façades en exposition, cette tache solaire occupe sur une surface de 30% prêt des façades orientées vers l'Est avec une durée maximale qui peut atteindre les quatre heures, et sur une surface de 18% prêt des façades orientées vers l'Ouest avec une durée maximale d'une heure et demi.
- La présence des corridors au dessus des surfaces orientées vers l'Ouest, ont provoqués une diminution de la surface et de la durée de la tache solaire.

Pour le type II :

- le coefficient d'ombrage de ce type de CEM varie entre 60% et 76% la matinée, il garde la valeur de 80% durant la tranche horaire allant de 13h : 00 à 15h : 00.
- Durant la matinée, le soleil touche les façades des classes de la première rangée orientées vers l'Est, pour les façades orientées vers l'Ouest, le soleil peut les atteindre durant la tranche horaire allant de 13h : 30 à 16h : 30. Pour les salles de la deuxième rangée, le soleil touche leurs façades orientées vers l'Est entre 9h : 30 et 14h : 00 et pour ceux, orientées vers l'Ouest, le soleil peut les atteindre entre 15h : 00 et 17h : 00.
- La tache solaire pour le type considéré est moins importante par rapport à celle du mois précédent. Elle se concentre dans les salles de la première rangée à coté des façades orientées vers l'Est et sur une surface de 37%, pour les façades de ces salles et dans l'orientation est vers l'Ouest, la tache solaire occupe une surface de 18%. Pour les salles de la deuxième rangée, la tache solaire occupe une surface de 25% prêt des façades orientées vers l'Ouest et sur une surface de 35%.

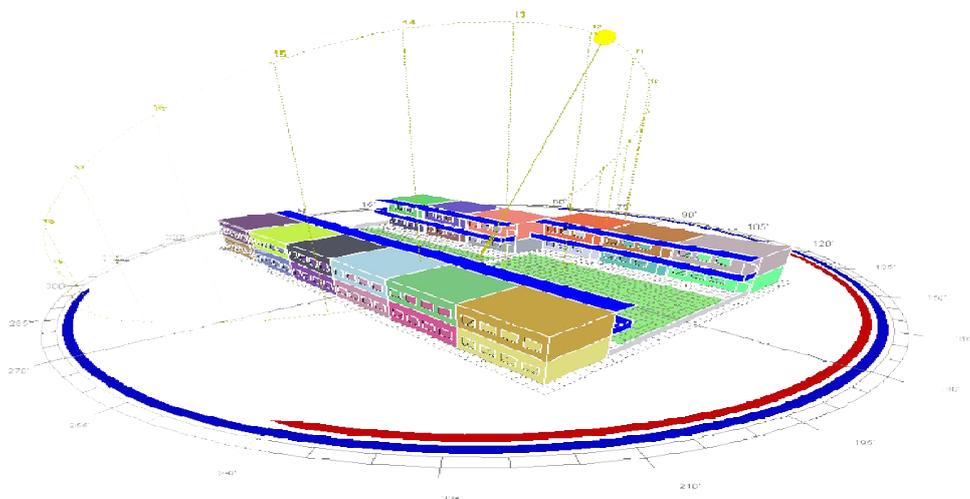


Figure.VI.135. Vue tridimensionnelle du type II en orientation Ouest ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Juin.

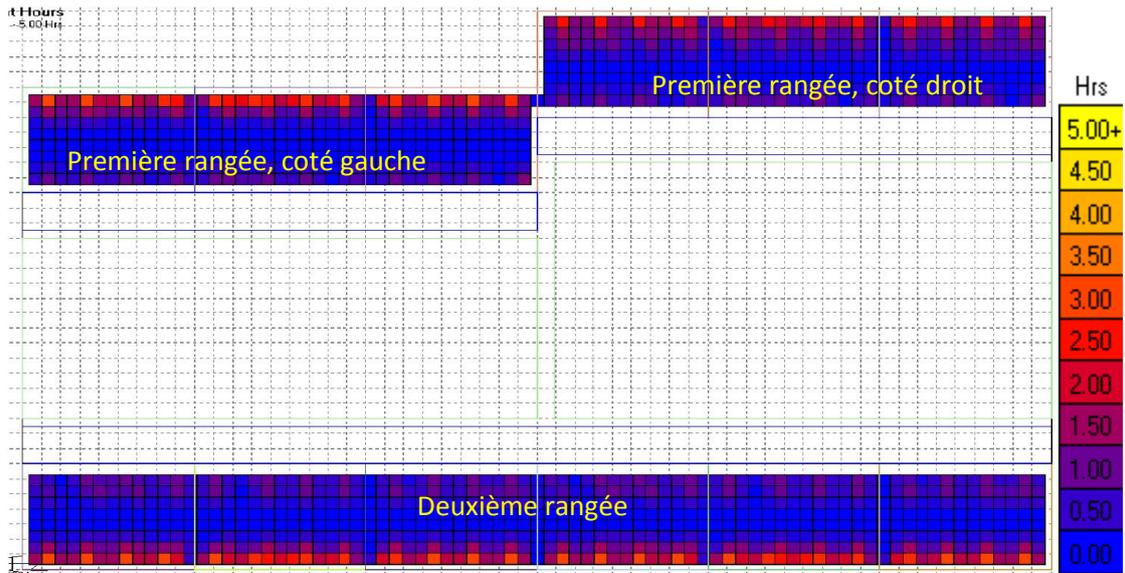


Figure VI.136. Cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Juin pour le type II, avec une orientation Ouest du corridor.

Pour le type III :

- Le coefficient d'ombrage garde la valeur de 72% durant toute la matinée. Il augmente à l'après midi, avec les valeurs de 88% entre 13h : 00 et 14h : 00 et de 89% entre 15h : 00 et 16h : 00.

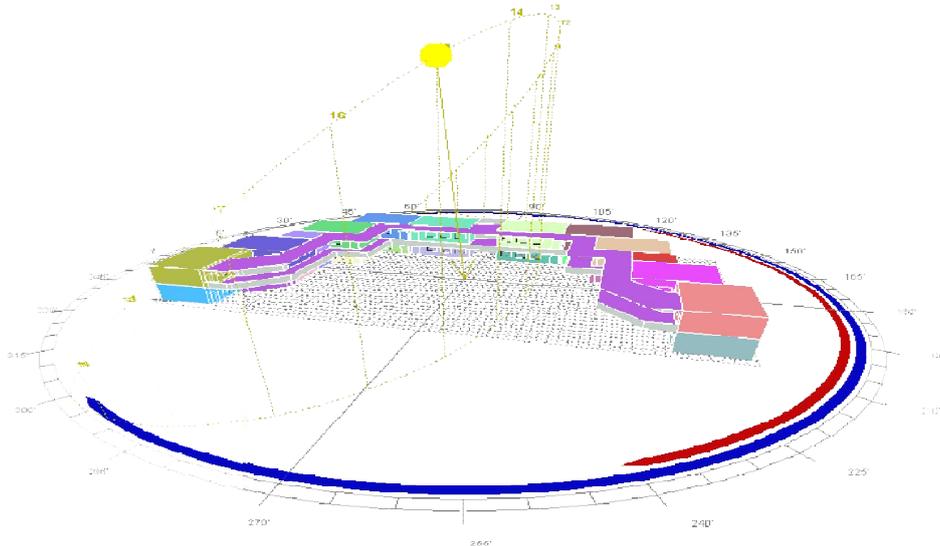


Figure.VI.137. Vue tridimensionnelle du type III en orientation Est ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Juin.

- Durant la matinée, le soleil atteint les façades orientées vers l'Est pour les quatre salles supérieures et les quatre salles centrales, offrant ainsi, une tache solaire répartit sur une surface de 22% dans les salles supérieures, prêt des façades en exposition pour une durée maximale qui peut atteindre quatre heures, et sur une faible surface pour les salles centrales prêt des fenêtres en exposition du soleil avec une durée maximale de deux heures et demi. Pour les façades en orientation Ouest, vu la présence des corridors, le soleil ne peut pas atteindre les salles de classe durant la durée d'étude, sauf les façades des quatre salles supérieures ou le soleil peut les atteindre à partir 15h : 30, offrant ainsi, une tache solaire répartit sur une faible surface avec une durée maximale d'une heure et demi.

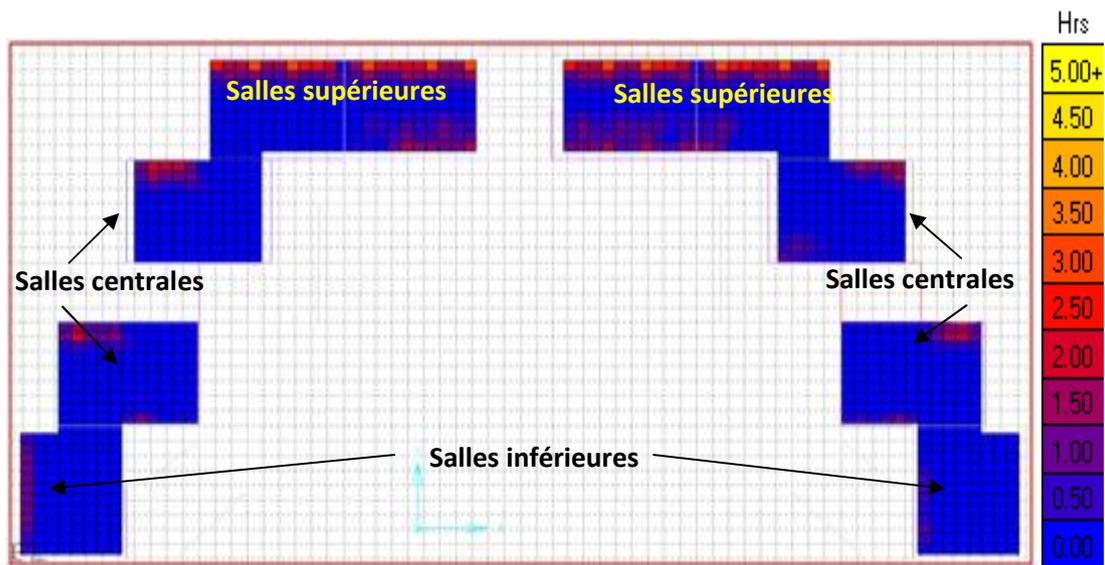


Figure VI.138. Cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Juin pour le type III, avec une orientation Ouest du corridor.

Pour le type IV :

- Il garde toujours la valeur de 77% durant toute la journée d'étude. Vu la symétrie de la conception de ce type, selon les deux orientations Est et Ouest, l'enseillement pour le mois considéré est similaire à celui présenté dans le cas de l'orientation Est.

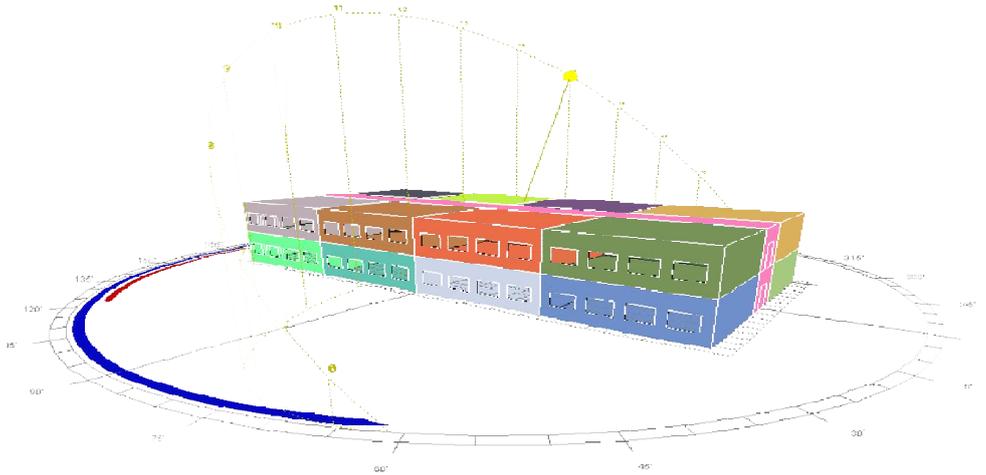


Figure.VI.139. Vue tridimensionnelle du type IV en orientation Ouest ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Juin.

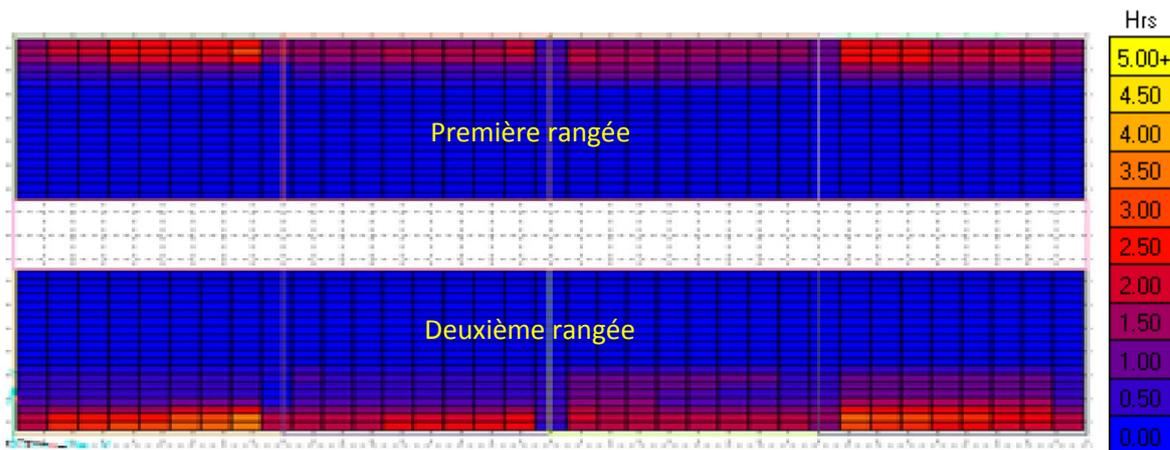


Figure VI.140 Cumul d'insolation entre 8h et 17h du 21 Juin pour le type IV, avec une orientation Ouest du corridor.

Le mois de Juin est caractérisé par un ciel très éclairé par rapport à celui des deux mois précédents. Dans ces conditions, le type le plus performant énergétiquement doit avoir un éclairage et un coefficient d'ombrage modéré. Les types de CEM les plus ensoleillés, selon la décroissance du coefficient d'ombrage, sont les CEM de type I puis les CEM de type II suivis par les CEM de type IV et enfin les CEM de type III. L'ensemble de ces CEM ne permet pas d'avoir une tache solaire importante aux seins des salles de classe. Le risque d'éblouissement est minime comparé à celui des mois précédent.

VI.3.4.2. TEMPERATURE INTERIEURE

Nous présentons dans la partie ci-dessous, les résultats des simulations de la température au sein des salles de classe des quatre types de CEM étudiés, pour les trois mois de références représentés respectivement par les journées du 21 Décembre, 21 Mars et enfin celle du 21 Juin.

VI.3.4.2. 1. Pour le mois de Décembre

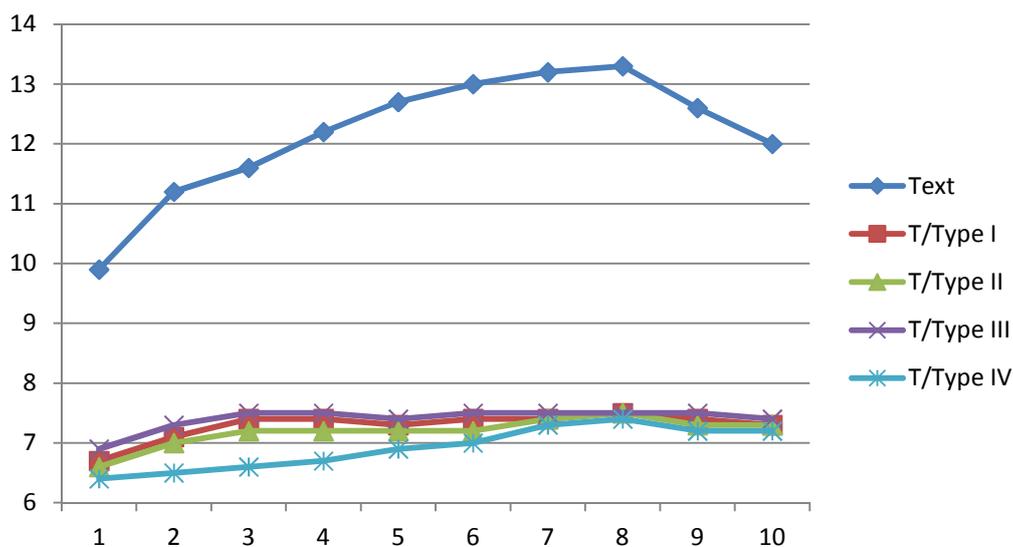


Figure.VI.141. Température extérieure et températures à l'intérieures des salles des quatre types de CEM pour la journée du 21 Décembre.

- Pour le mois considéré, les résultats des simulations présentés dans la figure VI.141 ont montré que les températures à l'intérieures des salles des quatre types de CEM sont plus basses à celle de l'extérieure, créant ainsi, des gradients de température positif est par conséquent, le transfert de chaleur par conduction est orienté de l'extérieure vers l'intérieur.
- De mêmes que les autres orientations, les températures à l'intérieur des salles ne varient pas d'une manière importante, en effet, l'écart maximale de la température à l'intérieure des salles durant la tranche horaire d'étude est minimale, est de : 0.8 °C pour le type I, 0,9 °C pour le type II, 0,6 °C pour le type III et enfin de 1 °C pour le type IV.
- A 8h : 00, la température extérieure est minimale avec une valeur de 9,9°C, à cette heure, les températures à l'intérieures des salles des quatre types de CEM sont aussi les plus

basses avec des températures de 6,7 °C, 6,6 °C, 6,9 °C et enfin 6,4 °C pour les types I, II, III et IV respectivement.

- La valeur maximale de la température extérieure de 13,3 °C est atteinte à 15h :00. A cette heure, les températures à l'intérieures des salles sont aussi maximales, en effet :
 - le type I atteint la valeur maximale de 7,5°C 15h : 00,
 - le type II atteint une valeur maximale de 7,5°C à 15h : 00,
 - le type III atteint une valeur maximale de 7,5°C 15h : 00,
 - enfin le type IV avec une valeur maximale de 7,4°C à 15h : 00.
- Selon l'évolution des gradients pour la journée considérée, on peut classer les quatre types de CEM selon un ordre décroissant du gradient comme suit :
 - Le type IV avec un maximum de 5,9 °C entre 14h : 00 et 15h : 00,
 - Le type II avec un maximum de 5,8°C entre 13h : 00 et 15h : 00,
 - Le type I avec un maximum de 5,8 °C entre 14h : 00 et 15h : 00,
 - Enfin le type III avec un maximum de 5,8 °C atteint à 15h : 00.
- ***Selon cette la classification des gradients, on peut dire que les salles des CEM du type IV, sont les salles les plus froides, suivies par les salles des CEM de type II, puis les salles des CEM de type I et enfin les salles de classe des CEM de type III :***
(Type IV → Type II → Type I → Type III).

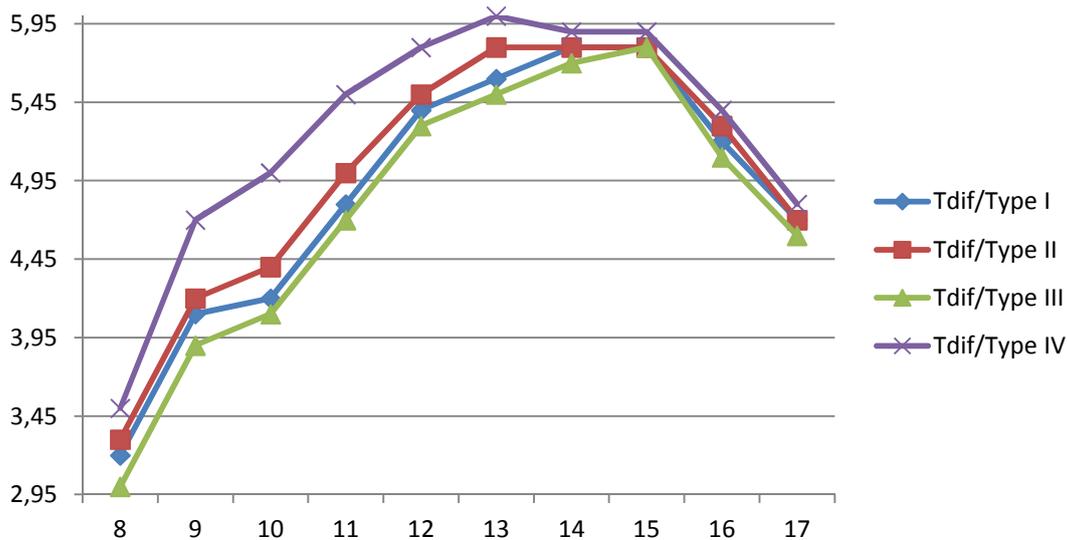


Figure VI.142. Gradients de températures des quatre types de CEM pour la journée du 21 Décembre.

VI.3.4.2.2. Pour le mois de Mars

- Pour ce mois, les résultats des simulations ont montrés que l'écart entre la température extérieure et la température intérieure de chaque type est considérable par rapport à celui du mois précédent, ainsi, les gradients des températures des quatre types pour le mois considéré sont plus importants par rapport à celui du mois de Décembre avec un signe toujours positif où le transfert de chaleur par conduction est toujours orienté de l'extérieur vers l'intérieur.
- Les températures intérieures des salles ne varient pas d'une manière importante, l'écart maximale entre les valeurs de la température à l'intérieure des salles de chaque type durant la tranche horaire d'étude est de : 0,7 °C pour le type I, 1 °C pour le type II, 0,7 °C pour le type III et enfin de 1,8 °C pour le type IV.

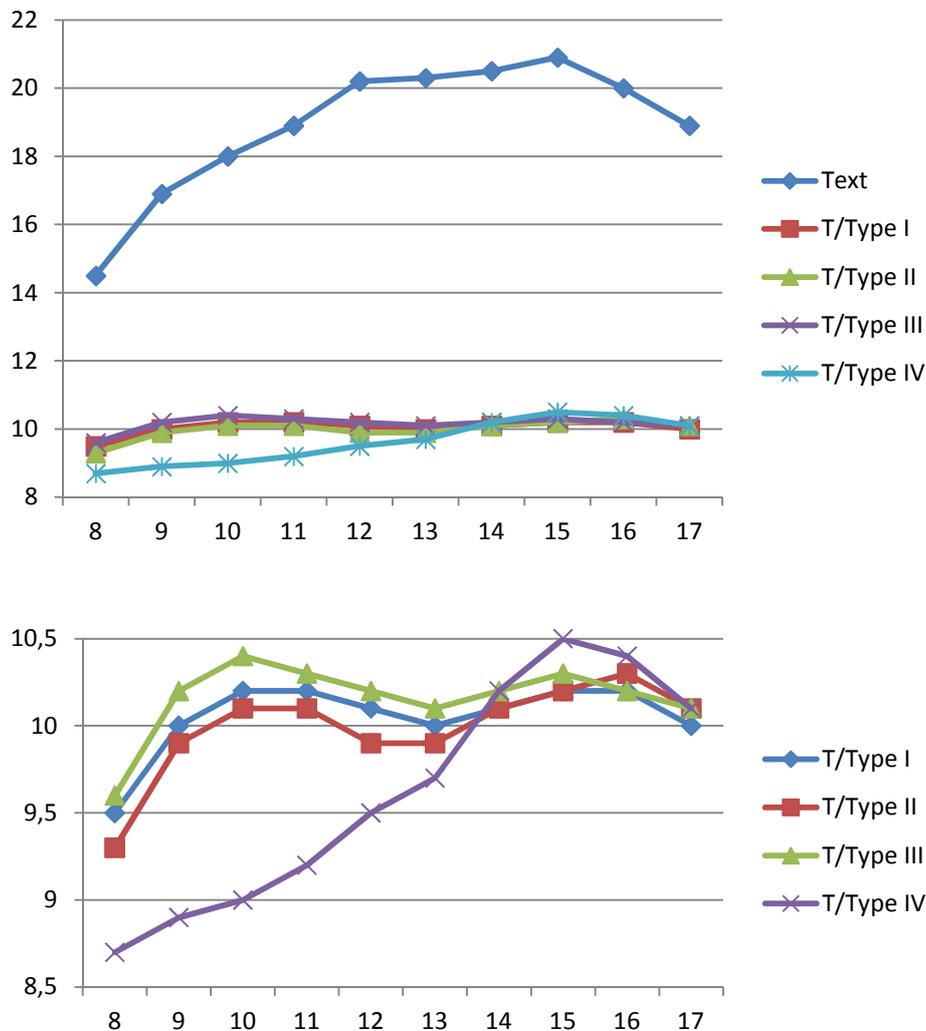


Figure VI.143. Température à l'extérieure pour la journée du 21 Mars et les températures à l'intérieure des salles des quatre types de CEM.

- Pour le mois de Mars, la valeur maximale de la température extérieure de 20,9°C est atteinte à 15h :00. A cette heure, les températures intérieures sont aussi maximales avec des valeurs de 10,2°C, 10,2°C, 10,3°C et enfin de 10,5°C pour les types I, II, III et IV respectivement.
- Les températures à l'intérieures des salles pour le mois de Mars sont plus importantes par rapport à celle du moi de Décembre.
- Selon l'évolution temporelle des températures intérieures des salles des quatre types de CEM. On peut dire que les salles des CEM de type II sont les plus froide, suivie par les salles de type I puis les salles de type III. Les salles de classe de type IV sont les plus froide durant la tranche horaire allant de 8h : 00 à 14h :00, à partir de cette heure, les salles de ce type devienne les plus chaude.

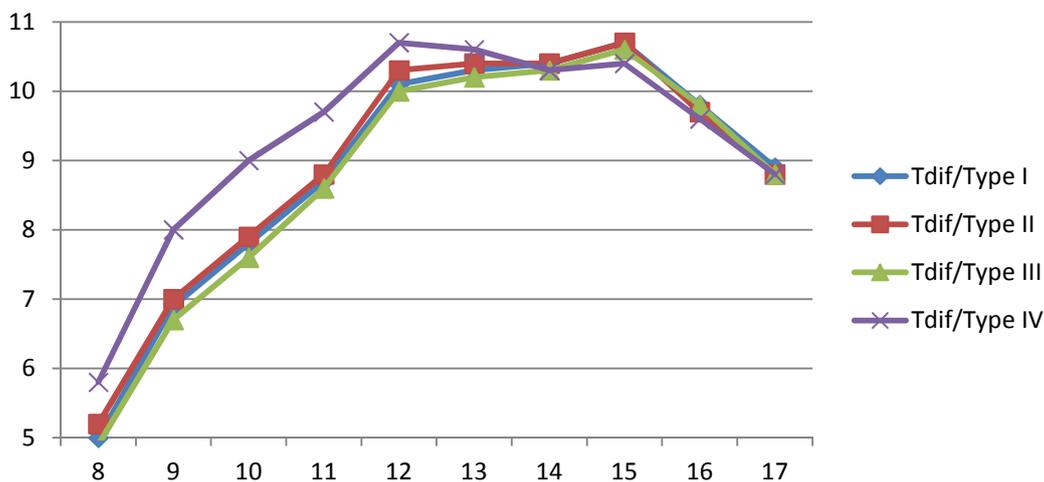


Figure VI.144. Gradients de températures des quatre types de CEM pour la journée du 21 Mars.

Pour le mois de Juin :

- Selon les résultats de simulation des températures à l'intérieure des salles de chaque type présentées dans la figure VI.145, on remarque que l'évolution des températures à l'intérieures des salles pendant la matinée diffère par rapport à celle des mois précédents, en effet, la température à l'intérieure des salles des quatre types dépasse celle de l'extérieure pendant la tranche horaire allant de 8h :00 à 11h : 00 alors que les températures à l'intérieures des salles pour les mois précédents ne dépasse jamais celle de l'extérieure. A partir de 11h : 00, les températures intérieures des quatre types sont inférieures par rapport à celles de l'extérieures.

- Pour le mois considéré, les températures à l'intérieur des salles des quatre types sont presque constantes avec des écarts maximale entre les valeurs des températures intérieure des salles de chaque type durant la tranche horaire d'étude est très minimales, cet écart est de : 0,1 °C pour le type I, 0,2 °C pour le type II, 0,3 °C pour les types III et IV.
- Le signe du gradient de température est négatif pendant la tranche horaire allant de 8h : 00 à 11h : 00 et même à 17h : 00, dans cette période, le transfert de chaleur par conduction est orienté de l'intérieure vers l'extérieure. il devient positif entre 11h :00 et 16h : 00, la où le transfert de chaleur par conduction est de l'extérieure vers l'intérieure.
- Pour le mois considéré, la valeur maximale de la température extérieure de 42,2 °C est atteinte à 14h :00. A cette heure, les températures à l'intérieure des salles ne sont pas forcément maximale, en effet :

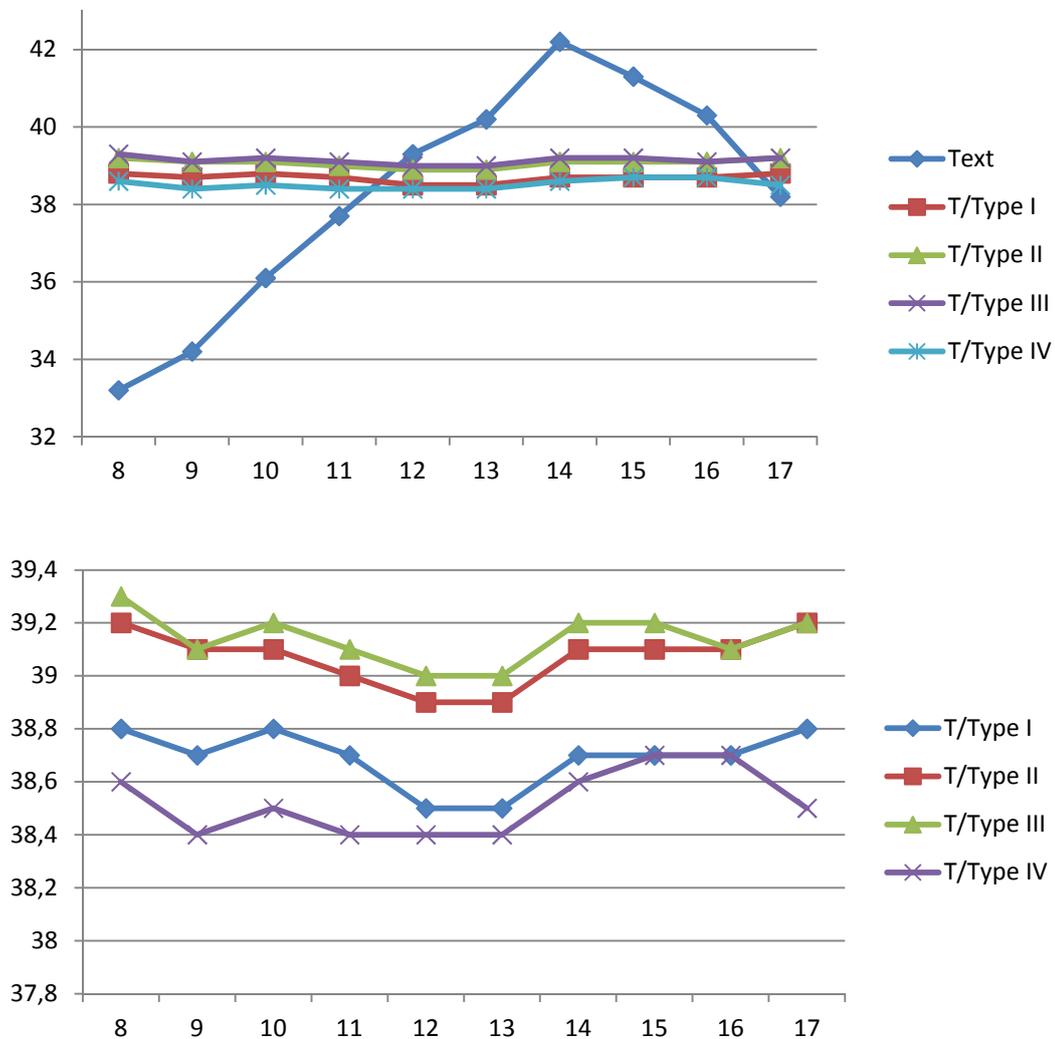


Figure VI.145. Température à l'extérieure pour la journée du 21 Juin et les températures à l'intérieure des salles des quatre types de CEM.

- Le type I atteint son maximum de 38,8 °C à 8h : 00 et à 17h : 00,
 - De même pour le type II, il atteint son maximum de 39,2 °C à 8h : 00 et à 17h : 00,
 - Le type III atteint son maximum de 39,3 °C à 8h : 00,
 - Enfin le type IV avec un maximum de 38,7 °C entre 15h : 00 et 16h : 00.
- Selon l'évolution de la température à l'intérieure des salles présenté dans la figure VI.145, on peut classés les quatre types de CEM selon un ordre décroissant comme suit :
- Le type III suivie par la type II puis le type I et enfin le type IV.
- *Selon cette classification, on peut dire que les salles des CEM du type IV, sont les salles les plus froides, suivies par les salles des CEM de type II, puis les salles des CEM de type I et de types III.*

(Type IV → Type I → Type II → Type III).

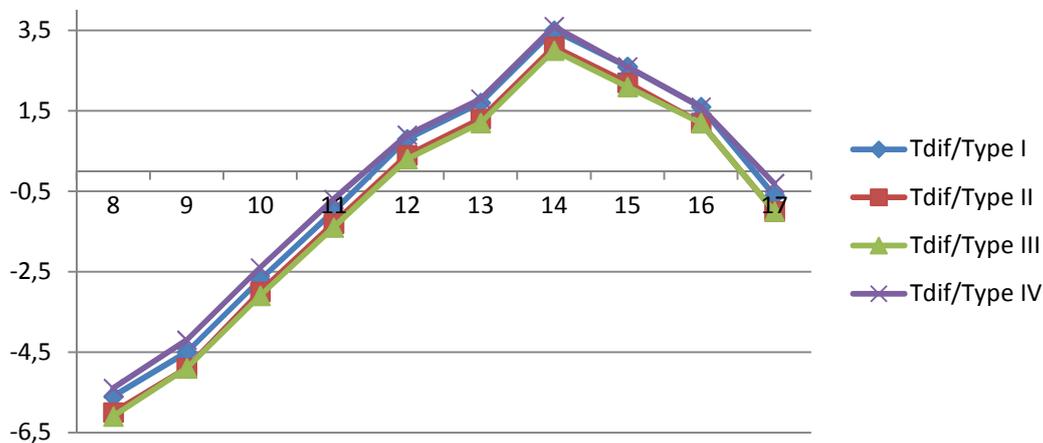


Figure VI.146. Gradients de températures des quatre types de CEM pour la journée du 21 Juin.

VI.3.4.3. SYNTHÈSE DES RESULTATS DES SIMULATIONS SELON

L'ORIENTATION OUEST

VI.3.4.3.1. Pour le mois de Décembre

En comparant les quatre diagrammes des quatre type de CEM avec le diagramme optimal, pour le mois de Décembre et selon l'orientation Ouest, on peut dire que le diagramme de CEM de type II est le diagramme le plus proche à celui du diagramme optimal avec deux paramètre identiques (ombrage et éclairage) et deux paramètres voisins (température et ensoleillement).

On conclut alors que pour le mois de Décembre et pour l'orientation Ouest, les CEM de type II sont les CEM les plus performants énergétiquement.

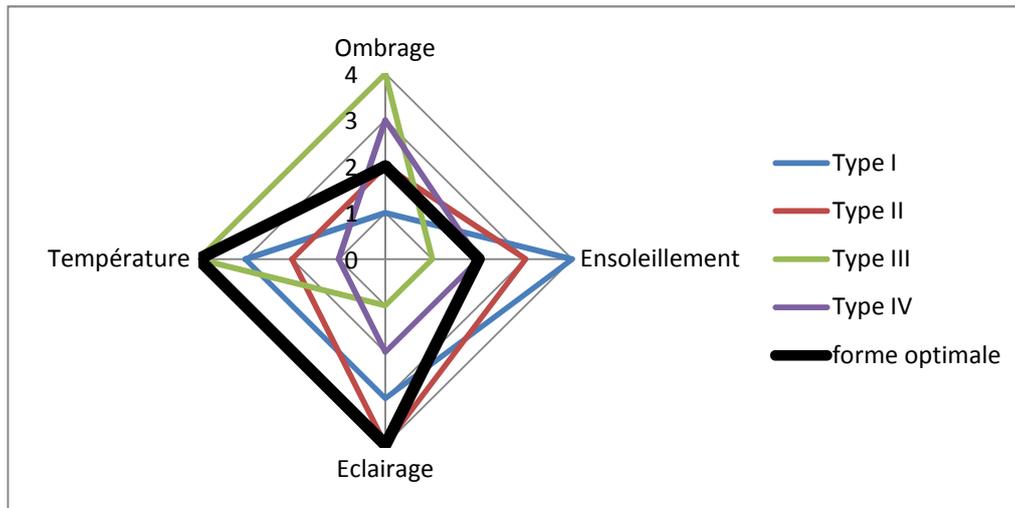


Figure. VI.147. Diagrammes radar des paramètres des quatre types de CEM, ainsi que le diagramme optimal, pour le mois de Décembre.

VI.3.4.3.2. Pour le mois de Mars

En comparant les quatre diagrammes des quatre type de CEM avec le diagramme optimal, pour le mois de Mars et selon l'orientation Ouest, on peut dire que le diagramme de CEM de type II est le diagramme le plus proche à celui du diagramme optimal avec deux paramètres identiques (ombrage et éclairage) et deux paramètres voisins (température et ensoleillement).

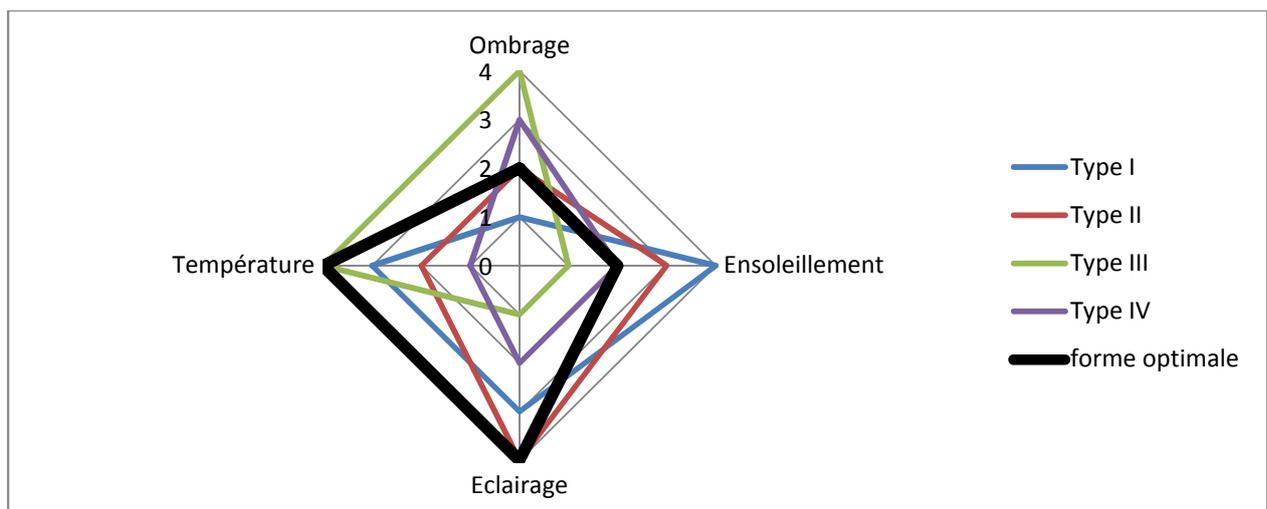


Figure. VI.148. Diagrammes radar des paramètres des quatre types de CEM, ainsi que le diagramme optimal, mois de Mars.

Pour le mois de Mars et pour l'orientation Ouest, on peut conclure que les CEM de type II sont les CEM les plus performants énergétiquement.

VI.3.4.3.3. Pour le mois de Juin

En comparant les quatre diagrammes des quatre type de CEM avec le diagramme optimal, pour le mois de Juin et selon l'orientation Est, on peut dire que les diagrammes des CEM de type IV et de type II sont les diagrammes les plus proches à celui du diagramme optimal, le type IV avec un seul paramètre identique (températures) et trois paramètres voisins (ombrage, ensoleillement et Eclairage) et le type II avec deux paramètres voisins (ombrage et éclairage) et deux paramètres voisins (Ensoleillement et température.

Pour ce mois, on peut dire que les CEM de type II sont les plus performant avec deux paramètres voisins, pour la température, l'écart maximale entre les températures intérieures des ces deux types selon l'orientation et le mois considérés et de 1°C, cet écart peut être négligé.

On conclu alors que pour le mois de Juin et pour l'orientation Ouest, les CEM de type II sont les CEM les plus performants énergétiquement.

Nous concluons ainsi, que les CEM de type II sont les CEM les plus performants énergétiquement selon l'orientation Ouest.

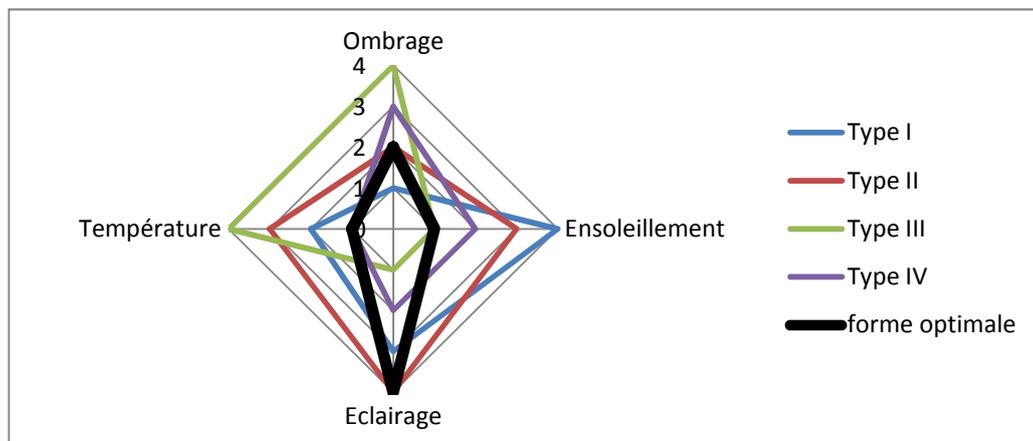


Figure. VI.149. Diagrammes radar des paramètres des quatre types de CEM, ainsi que le diagramme optimal, mois de Juin.

VI.4. CONCLUSION

Ce chapitre représente la phase finale de notre recherche, il présente l'ensemble des résultats des simulations obtenues après avoir introduit l'ensemble de données climatiques et typologiques à ECOTECH. Ce dernier présente un outil de simulation très performant qui permet de donner l'ensemble des résultats des paramètres qui traduisent les performances énergétiques d'un bâtiment quelconque.

Quatre paramètres ont été adoptés afin de décrire les performances énergétiques des CEM de la ville de Biskra, ces paramètres sont respectivement : le coefficient d'ombrage, l'ensoleillement, la température et enfin le FLJ.

Une étude comparative entre ces quatre paramètres utilisés pour traduire les performances énergétique de l'ensemble des CEM de la ville de Biskra, a menée de dire que le type II est le type le plus performant énergétiquement.

Le risque d'éblouissement est important pour les CEM de type I, type II et enfin type IV, selon les deux orientations Est et Ouest et pour les trois mois de références, Décembre, Mars et enfin Juin. Ce risque est minime pour les CEM de type III.

Pour les deux orientations Nord et Sud, le risque d'éblouissement est minime pour les quatre types de CEM selon les deux mois de références Mars et Juin. Ce risque devient important pour l'ensemble des CEM durant le mois de Décembre vue les faibles altitudes du soleil durant ce mois.

On conclut alors la forme la plus optimale et la forme des CEM de type II, dont l'orientation favorable est celles du Nord ou du Sud.

L'étude présentée ci-dessus nous a permis de préparer une base de données dédiée principalement aux architectes qui pourrait être un manuel ou un outil primordial qui peut être utilisée au cours du processus de conception des établissements scolaires. Cette base de données, résume les performances énergétiques des quatre types de CEM selon les quatre orientations : Nord, Sud, Est et Ouest et durant les trois mois de références qui sont respectivement, le mois de Décembre, le mois de Mars et enfin le mois de Juin.

La base de données préparée a été obtenue à partir de la comparaison entre l'ensemble des paramètres qui traduisent les performances énergétiques des quatre types de CEM.

Cette comparaison a été classée selon l'échelle présentée dans la figure ci-dessous :



ORIENTATION : NORD												
Paramètre :	Ombrage			Ensoleillement			Eclairage (FLJ)			Température		
le mois le type	D	M	J	D	M	J	D	M	J	D	M	J
Type I	M	E	M	E	M	TE	M	M	M	F	M	M
Type II	O	M	O	M	O	O	O	O	O	M	O	E
Type III	E	M	E	O	M	E	TF	TF	TF	O	F	TE
Type IV	M	O	M	M	E	M	F	F	F	TF	TF	O
ORIENTATION : SUD												
Paramètre :	Ombrage			Ensoleillement			Eclairage (FLJ)			Température		
le mois le type	D	M	J	D	M	J	D	M	J	D	M	J
Type I	M	E	E	E	M	E	M	M	M	M	M	M
Type II	O	M	M	M	O	O	O	O	O	F	F	E
Type III	M	O	M	O	M	TE	TF	TF	TF	O	O	TE
Type IV	E	M	O	M	E	M	F	F	F	TF	TF	O
ORIENTATION : EST												
Paramètre :	Ombrage			Ensoleillement			Eclairage (FLJ)			Température		
le mois le type	D	M	J	D	M	J	D	M	J	D	M	J
Type I	O	M	M	E	E	TE	M	M	M	M	F	M
Type II	M	O	O	O	M	E	O	O	O	F	M	TE
Type III	E	E	E	M	M	O	TF	TF	TF	O	O	E
Type IV	M	M	M	M	O	M	F	F	F	TF	TF	O

ORIENTATION : OUEST												
Paramètre :	Ombrage			Ensoleillement			Eclairage (FLJ)			Température		
le mois le type	D	M	J	D	M	J	D	M	J	D	M	J
Type I	M	M	M	E	E	TE	M	M	M	M	M	M
Type II	O	O	O	M	M	E	O	O	O	F	F	E
Type III	E	E	E	M	M	O	TF	TF	TF	O	O	TE
Type IV	M	M	M	O	O	M	F	F	F	TF	TF	O

Le tableau ci-dessus résume la comparaison obtenue durant les trois mois de références qui sont respectivement : le mois de Décembre (D), le mois de Mars (M) et enfin le mois de Juin (J) et selon les quatre orientations : Nord, Sud, Est et Ouest. Ce tableau peut être considéré comme une base de données, prête à être utilisée et intervenir dans la conception des établissements scolaires dans la ville de Biskra.

CONCLUSION GENERALE

Tout apprenant où qu'il soit a droit à des équipements éducatifs de qualité, à un espace au service de la pédagogie ; un espace physiquement performant et au fonctionnement facile ; enfin, un espace qui stimule l'efficacité pédagogique, offrant à ses utilisateurs un cadre sain, confortable, sécurisé et stimulant.

Il est universellement admis aujourd'hui que la performance d'un système éducatif dépend d'une multitude de facteurs endogènes et exogènes dont la qualité environnementale des espaces destinés aux activités pédagogiques, demeure parmi les plus déterminants. En effet, l'établissement scolaire n'est plus perçu comme un simple ensemble de bâtiments juxtaposés ayant pour seul rôle d'abriter les activités de transmission des connaissances et du savoir, c'est plutôt un cadre de vie, de rayonnement culturel et d'éducation. Son architecture est un élément de la pédagogie, elle est pour l'élève un référent qui le marque pour toute sa vie, il s'identifie souvent à cet espace qui lui est familier. C'est dans ce sens que l'intégration des concepts environnementaux, du développement durable et des nouvelles technologies dans le processus de conception, de réalisation et de gestion de ces établissements devient de plus en plus inévitable.

Considéré comme la base essentielle du développement humain, le système éducatif en Algérie, a toujours été une des préoccupations majeures des pouvoirs publics. La grosse part du budget réservé chaque année au secteur de l'éducation et les multiples réformes engagés dans le secteur depuis l'indépendance du pays, dénotent si besoin est, tout l'intérêt que porte l'état à ce secteur dont les performances restent malheureusement en dessous des ambitions. En effet, en dépit des efforts colossaux consentis, des moyens humains et financiers déployés, et des réformes adoptées pour améliorer le rendement et l'efficacité de notre système éducatif, les résultats acquis jusque là, demeurent en deçà des espoirs attendus et semblent à chaque fois éloignés des besoins sociaux qui eux en fait évoluent plus vite encore.

La contribution des architectes dans le processus de production d'espaces éducatifs, qui doivent adopter de nouvelles pratiques pédagogiques, demeure capitale. La conception des établissements scolaires doit être repensée de façon à faciliter les activités éducatives au sein de l'établissement, et placer les élèves et le personnel enseignant dans les meilleures conditions possibles de travail. Il s'agit d'essayer d'intégrer les paramètres environnementaux dans le processus de conception architecturale des bâtiments scolaires afin de réduire leurs

impacts négatifs sur l'environnement extérieur tout en offrant aux futurs utilisateurs des espaces intérieurs satisfaisants, confortables, en harmonie avec le milieu socioculturel.

Cette présente recherche sera organisée comme suit :

- Dans un premier chapitre, nous présentons une définition de l'architecture où nous nous engageons à donner une définition du mot 'architecture' formulée soit par des architectes célèbres ou recueillie dans des dictionnaires récents. Dans ce chapitre, nous présentons l'architecture comme étant un système complexe décrit à partir du concept de système donné par Herbert Simon ; un environnement interne, un environnement externe relié par une interface. Le but est de présenter l'influence de l'environnement externe dans la définition de la forme architecturale et en particulier, l'influence des conditions climatiques sur l'élaboration du projet architectural. Ces conditions, jouent un rôle primordial dans la définition de la forme architecturale et qui sont aussi, l'apport principal de notre recherche, où nous voudrions principalement, étudier l'influence des conditions climatiques sur la détermination de la forme d'une conception. Nous terminerons ce chapitre par la présentation de la genèse du forme et par une conclusion récapitulative.
- Dans le second chapitre, nous présentons dans un premier temps les éléments du climat où nous exposerons quelques définitions issues de la littérature, utiles et nécessaire à la compréhension des chapitres qui vont être présentés ultérieurement. Dans un second temps, nous présentons les types des climats existants ainsi que leurs caractéristiques, en particulier le climat sec et chaud, où nous proposons quelques stratégies conceptuelles et techniques de régulation thermique, dans le but est d'améliorer le confort dans ce type de climat.
- Le troisième chapitre présente les différentes théories et modèles relatifs au processus de conception architecturale afin d'arriver à comprendre ce dernier.
- Le quatrième chapitre présente les thèmes de l'éducation et de l'architecture scolaires dans leurs dimensions globales où nous parlerons de l'architecture scolaire sur les plans international et national.
- Un résumé sur les démarches d'analyse suivies ainsi qu'une présentation du modèle d'analyse seront présentés dans un cinquième chapitre. Aussi, une présentation du logiciel ECOTECT utilisé dans la simulation des performances énergétiques sera aussi abordée dans ce chapitre.
- dans le dernier chapitre, nous avons essayé d'étudier la forme architecturale de l'ensemble des CEM de la ville de Biskra, ainsi que de présenter leurs performances

énergétiques. Ceci d'une part, d'autre part, de déterminer la forme architecturale la plus adéquate au climat de la ville de Biskra caractérisée par un climat chaud et sec et la forme la plus performante du point de vue énergétique, offrant ainsi des établissements d'enseignement plus confortables, rentables et plus efficaces pour l'apprentissage. Pour cela, des résultats des simulations obtenus à partir du logiciel ECOTECH ont été largement présentés. Ces performances concernent : le coefficient d'ombrage, l'ensoleillement, l'évolution temporelle de la température au sein des salles de classes et enfin le facteur de lumière du Jour (FLJ).

L'étude de la conception de l'ensemble des CEM de la ville de Biskra (30 CEM ont été comptabilisés) a permis de les classer en quatre types de CEM. Les résultats des simulations des performances énergétiques de ces quatre types de CEM ont montré que le type II est le type le plus performant énergétiquement comparés aux autres types de CEM. Cette étude nous a permis aussi de préparer une base de données dédiée principalement aux architectes qui pourrait être un manuel ou un outil primordial qui peut être utilisé au cours du processus de conception des établissements scolaires. Cette base de données, résume les performances énergétiques des quatre types de CEM selon les quatre orientations : Nord, Sud, Est et Ouest et durant les trois mois de références qui sont respectivement, le mois de Décembre, le mois de Mars et enfin le mois de Juin.

La base de données préparée a été obtenue à partir de la comparaison entre l'ensemble des paramètres qui traduisent les performances énergétiques des quatre types de CEM.

Loin d'être exhaustive, cette recherche, dédiée principalement au choix de la forme des établissements scolaires la plus optimale du point de vue énergétique, reste ouverte à des approches plus approfondies et des réflexions plus poussées. Elle ouvre les portes également à d'autres pistes de recherche ayant trait à l'influence des différents aspects environnementaux tels que : le confort hygrothermique, acoustique, visuel, qualité du mobilier scolaire...etc.).

LIMITES DE RECHERCHE ET RECOMMANDATIONS.

Notre travail se limite à présenter les performances de l'ensemble des CEM en termes : d'ombrage, d'éclairage, d'ensoleillement et enfin de température, mais pour avoir une bonne conception d'un établissement scolaire, il faut prendre en considération l'influence de plusieurs d'autres paramètres tels que :

- le choix des matériaux et procédés de construction,

- L'étude des paramètres liés aux confort : visuel, acoustique, psycho-spatial, olfactif ainsi que la qualité de l'air.
- d'autres paramètres liés à la sécurité à l'intérieur des établissements scolaires doivent être pris en considération.

Dans notre travail de simulation, certains paramètres n'ont pas été pris en considération, tel que l'effet de la ventilation alors que ceci peut augmenter leur performance énergétiques.

L'étude est faite sur un espace isolé, sans prendre en considération l'environnement immédiat, ce dernier, peut améliorer ou atténuer leurs performances à partir par exemple, de l'effet de l'ombrage provoqué par les constructions immédiates ou voisines.

Les résultats des simulations ont montrés que les CEM de type II sont les CEM les plus performant énergétiquement par rapport aux CEM existant dans la ville de Biskra. Il pourrait que se choix ne soit pas le plus optimal comparé a d'autres types de CEM qui pourrait exister.

Dans notre présentation des résultats de simulation du FLJ des quatre types de CEM étudiés. Nous avons supposé que le ciel est dans un état couvert, cela est dû à la limitation du logiciel utilisé (ECOTECT), qui ne peut prendre en compte que cet état du ciel. Dans ce cas, le FLJ est indépendant de l'orientation des baies vitrées, de la saison et de l'heure du jour, alors qu'en réalité, le FLJ doit prendre en considération état du ciel qui peut l'améliorer ou l'atténuer.

RECOMMANDATIONS

Les établissements scolaires doivent être conçus comme un vecteur de bien-être, des lieux d'identification, des lieux qui éveillent, qui stimulent les apprenants à être assidus, enfin des lieux dont le parti architectural doit exprimer le caractère scolaire et traduire le souci de seconder l'œuvre pédagogique.

L'objectif principal de notre présente recherche était de définir le type le plus performant énergétiquement selon la conception des CEM existant dans la ville de Biskra. Mais le véritable défi qui se pose aujourd'hui en matière de production de bâtiments scolaires, est de savoir comment concevoir des infrastructures modernes, harmonieuses, confortables, respectant l'aspect écologique tout en étant capables de répondre efficacement aux différents besoins issus des nouvelles méthodes et pratiques pédagogiques. En effet, il est tout à fait évident aujourd'hui que ce n'est plus à l'élève de s'adapter à un environnement scolaire préconçu, mais plutôt c'est au système éducatif de proposer des environnements favorables à l'apprentissage. Cette approche nécessite de nouvelles règles permettant de produire des établissements scolaires susceptibles de remplir et de supporter ces nouvelles exigences.

RESUME

REMERCIEMENTS

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION

DÉFINITION DU PROBLÈME

CHAPITRE I : FORME ARCHITECTURALE

I.1. INTRODUCTION

I.2. DEFINITION DE L'ARCHITECTURE

I.3. LE SYSTEME DE L'ARCHITECTURE

I.3.1. FORME ARCHITECTURALE ET ENVIRONNEMENT EXTERNE

I.3.1.1. LA FORME ET LE SITE D'IMPLANTATION

I.3.1.2. LA FORME ET L'ENVIRONNEMENT PHYSIQUE

I.3.1.3. LA FORME ET L'ENVIRONNEMENT PHYSIQUE

I.3.1.4. L'INFLUENCE DU CLIMAT SUR LA FORME ARCHITECTURALE

I.3.1.5. LA FORME ARCHITECTURALE ET L'ECONOMIE

I.3.1.6. L'INFLUENCE DE L'ENVIRONNEMENT SOCIO-CULTUREL SUR LA FORME ARCHITECTURALE

I.3.1.7. L'ENVIRONNEMENT HISTORIQUE ET LA FORME ARCHITECTURALE

I.3.2. L'ENVIRONNEMENT INTERNE DU SYSTEME DE L'ARCHITECTURE

I.3.3. LE SYSTEME COMPOSITIONNEL

I.3.3.1. DEFINITIONS DE L'ECHELLE

I.4. LA GENESE DE LA FORME

I.5. DIFFERENTES APPROCHES SUR LA FORME

I.5.1. LA FORME ET LE CONTEXTE

I.5.2. LA FORME ET L'ESPACE

I.5.3. LA FORME ET LE SCHEME

I.6. CONCLUSION

CHAPITRE II : FORME ARCHITECTURALE ET PERFORMANCES

ENERGETIQUES

II.1. INTRODUCTION

II.2. LES ELEMENTS DU CLIMAT

II.2.1. FACTEURS ENERGETIQUES

II.2.1.1 L'ENERGIE SOLAIRE

II.2.1.1.1. L'ensoleillement

II.2.1.1.2. Course du soleil

II.2.1.1.3. Diagramme solaire

II.2.1.1.4. Le rayonnement solaire

II.2.1.1.5. Types de rayonnement solaire

II.2.1.1.6. Les appareils de mesure du rayonnement solaire

- II.2.1.2. LUMIERE DU JOUR
 - II.2.1.2.1. Définitions de base
 - II.2.1.2.2. Les conditions de ciel
 - II.2.1.2.3. Les modèles de ciel standard
 - II.2.1.2.4. Le facteur de lumière du jour (FLJ)
 - II.2.1.2.4.1. Le facteur de lumière du jour et fonction des bâtiments
 - II.2.1.2.4.2. Correspondances quantitatives et qualitatives du FLJ
 - II.2.1.2.5. Les critères d'un éclairage de qualité
- II.2.1.3. TEMPERATURE
 - II.2.1.3.1. Notions de base
 - II.2.1.3.1.1. Propriétés thermiques des matériaux
 - II.2.1.3.1.2. Les transferts radiatifs
 - II.2.1.3.1.3. Les différents processus de transferts de chaleur
 - II.2.1.3.2. Le confort thermique:
 - II.2.1.3.2.1. Les paramètres du confort thermique
 - II.2.1.3.2.2. Stratégies d'évaluation du confort thermique
- II.2.2. FACTEURS HYDROLOGIQUES
 - II.2.2.1. LES PRECIPITATIONS
 - II.2.2.2. HYGROMETRIE
- II.2.3. FACTEURS MECANIQUES
 - II.2.3.1. LES VENTS
- II.3. FORME GÉOMÉTRIQUE, EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE, ET EXPRESSION ARCHITECTURALE.
 - II.3.1. L'importance de l'équilibre entre l'expression architecturale et l'efficacité énergétique des formes géométriques en architecture
 - II.3.2. Formes de construction : paramètres en relation avec le gain de chaleur et l'ambiance thermique
 - II.3.2.1. LA HAUTEUR DU PLAFOND
 - II.3.2.2. LE PARAMÈTRE DE FORME
 - II.3.2.3. FACTEURS DE FORME
 - II.3.3. EFFETS DE L'ORIENTATION SUR LE GAIN THERMIQUE
 - II.3.3.1. EFFET DE L'ORIENTATION D'UNE SURFACE SUR LES RADIATIONS SOLAIRES REÇUES
 - II.3.3.2. PARAMETRES DE L'ENVELOPPE AFFECTANT LA DIFFERENCE DE GAIN THERMIQUE DE DIVERSES ORIENTATIONS
- II.4. TYPES DE CLIMATS
 - II.4.1. CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES ET DISTRIBUTION GEOGRAPHIQUE DU CLIMAT CHAUD ET SEC
 - II.4.1.1. PROBLEMES ET EXIGENCES DE CONFORT PHYSIOLOGIQUE DANS UN CLIMAT SEC ET CHAUD
 - II.4.1.2. STRATÉGIES CONCEPTUELLES ET TECHNIQUES DE RÉGULATION THERMIQUE DANS UN CLIMAT CHAUD ET SEC
 - II.4.1.2.1. Limiter les transferts de chaleur par conduction
 - II.4.1.2.2. Déphaser les variations périodiques de température
 - II.4.1.2.3. Favoriser la ventilation
 - II.4.1.2.4. Limiter les gains solaires
 - II.4.1.2.5. Favoriser le refroidissement par rayonnement nocturne
 - II.4.1.2.6. Favoriser le refroidissement par évaporation
- II.5. CONCLUSION

CHAPITRE III : PROCESSUS DE CONCEPTION ARCHITECTURALE

III.1. INTRODUCTION

III.2. APPROCHES METHODOLOGIQUES DU PROCESSUS DE CONCEPTION

III.2.1. LA THEORIE "BLACK BOX"

III.2.2. LA THEORIE "GLASS BOX"

III.3. LES DIFFERENTS MODELES CONCEPTUELS

III.3.1. LA TAXONOMIE DE KONDA ET AL. (1991)

III.3.1.1. Les modèles axes sur le processus (design process models)

III.3.1.1.1. Le modèle d'engineering

III.3.1.1.2. Le modèle architectural

III.3.1.1.3. Le modèle pédagogique-professionnel de füeg (1982)

III.3.1.1.3.1. Connaissances et aptitudes

III.3.1.1.4. Le modèle de BROADBENT (1988) ou approche formelle

III.3.1.1.4.1. L'approche pragmatique

III.3.1.1.4.2. L'approche syntactique (canonique)

III.3.1.1.4.3. L'approche typologique (iconique)

III.3.1.1.4.4. L'approche analogique

III.3.1.1.5. Le modèle hybride (CROSS, 1989)

III.3.1.2. LES MODELES AXES SUR L'ARTEFACT

III.3.2. LA TAXONOMIE DE DUFRASNES

III.3.2.1. L'INDUCTION

III.3.2.2. LA RAISON CRITIQUE

III.3.2.3. LES SCIENCES DE L'ARTIFICIEL (SIMON, 1966)

III.3.2.4. L'APPORT DES DEMARCHES INTUITIVES

III.4. CONCLUSION

**CHAPITRE IV : ETUDE PAR SIMULATION DES PERFORMANCES
ENERGETIQUES DES CEM**

IV.1. INTRODUCTION

IV.2. L'ARCHITECTURE SCOLAIRE SUR LE PLAN INTERNATIONAL

IV.2.1. ESSAI DE DEFINITION

IV.2.2. HISTOIRE DE L'ARCHITECTURE SCOLAIRE

IV.2.3. L'ETABLISSEMENT SCOLAIRE ET SON ROLE DANS LA SOCIETE

IV.2.4. EVOLUTION SPATIALE DE L'ETABLISSEMENT SCOLAIRE

IV.3. HISTOIRE EDUCATIVE EN ALGERIE

IV.3.1. LA PERIODE PRECOLONIALE (AVANT 1830)

IV.3.2. L'EPOQUE COLONIALE (DE 1830 A 1962)

IV.3.3. LA PERIODE POSTCOLONIALE (DE 1962 A 2008)

IV.3.4. EVOLUTION ET PERSPECTIVES DE DEVELOPPEMENT DU SYSTEME
EDUCATIF ALGERIEN

IV.4. LES PARAMETRES QUALITATIFS ENVIRONNEMENTAUX DES
ETABLISSEMENTS SCOLAIRES

IV.5. RELATION ENTRE ARCHITECTURE SCOLAIRE ET L'EFFICACITE
EDUCATIVE

IV.5.1. CONFORT VISUELLE

IV.5.2. LE CONFORT ACOUSTIQUE

IV.6. LES COLLEGES D'ENSEIGNEMENT MOYEN (CEM)

IV.6.1. LE MOT « COLLEGE»

IV.6.2. PROGRAMMATION D'UN COLLEGE D'ENSEIGNEMENT MOYEN

IV.6.3. LES COMPOSANTES D'UN COLLEGE D'ENSEIGNEMENT MOYEN

IV.6.4. AGENCEMENT DES COMPOSANTES

IV.6.5. CARACTERISTIQUES D'UNE SALLE DE CLASSE

IV.6.6. EQUIPEMENTS DE BASE D'UN CEM

IV.6.7. ECLAIRAGE NATUREL DANS LES SALLES DE CLASSES

IV.7. CONCLUSION

CHAPITRE V : MODELE D'ANALYSE ET CAS D'ETUDE

V.1. INTRODUCTION

V.2. ELABORATION DU MODELE D'ANALYSE

V.2.1. CONCEPTION ARCHITECTURALE DES ETABLISSEMENTS SCOLAIRES

V.2.2. LA DEMARCHE D'ANALYSE

V.3. LA SIMULATION PAR ECOTECH

V.3.1. L'IMPORTANCE D'UNE SIMULATION PAR ORDINATEUR

V.3.2. STRUCTURE DE LA SIMULATION PAR ECOTECH

V.3.2.1. MODELISATION GEOMETRIQUE ET MAILLAGE

V.3.2.2. PARAMETRES EN ENTREE

V.3.3. PROCEDURE D'UNE SIMULATION THERMIQUE PAR ECOTECH

V.3.4. LA METHODE DE CALCUL PAR ECOTECH

V.4. PRESENTATION DU CAS D'ETUDE

V.4.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE

V.4.2. DONNEES CLIMATOLOGIQUES

V.5. ANALYSE TYPOLOGIQUE DES CEM EXISTANTS DANS LA VILLE DE BISKRA

V.5.1. CLASSIFICATION DES CEM DE LA VILLE DE BISKRA

V.5.2. DETERMINATION DU NOMBRE ET DE LA SURFACE DES FENETRES

V.6. CONCLUSION

CHAPITRE VI : ETUDE PAR SIMULATION DES PERFORMANCES ENERGETIQUES DES CEM

INTRODUCTION

VI.1. DEMARCHE DE L'ETUDE

VI.2. RESULTATS ET INTERPRETATION

VI.3. INFLUENCE DE L'ORIENTATION ET DE LA GEOMETRIE SUR LES PERFORMANCES ENERGETIQUES

VI.3.1. POUR L'ORIENTATION NORD

VI.3.1.1. OMBRAGE ET ENSOLEILLEMENT

VI.3.1.1.1. Pour le mois de décembre

VI.3.1.1.2. Pour le mois de Mars

VI.3.1.1.3. Pour le mois de Juin

VI.3.1.2. TEMPERATURE INTERIEURE

VI.3.1.2.1. Pour le mois de Décembre

VI.3.1.2.2. Pour le mois de Mars

VI.3.1.2.3. Pour le mois de Juin

VI.3.1.3. FACTEUR DE LUMIERE DU JOUR (FLJ)

VI.3.1.3.1. Le FLJ pour le type I

VI.3.1.3.2. le FLJ pour le type II

VI.3.1.3.3. Le FLJ pour le type III

VI.3.1.3.4. Le FLJ pour le type IV

VI.3.1.4. SYNTHESE DES RESULTATS DES SIMULATIONS

VI.3.1.5. SYNTHESE DES RESULTATS DES SIMULATIONS SELON L'ORIENTATION
NORD

VI.3.2. POUR L'ORIENTATION SUD

VI.3.2.1. OMBRAGE ET ENSOLEILLEMENT

VI.3.2.1.1. Pour le mois de décembre

VI.3.2.1.2. Pour le mois de Mars

VI.3.2.1.3. Pour le mois de Juin

VI.3.2.2. TEMPERATURE INTERIEURE

VI.3.2.2.1. Pour le mois de Décembre

VI.3.2.2.2. Pour le mois de Mars

VI.3.2.2.3. Pour le mois de Juin

VI.3.2.3. SYNTHESE DES RESULTATS DES SIMULATIONS SELON L'ORIENTATION
SUD

VI.3.2.3.1. Pour le mois de Décembre

VI.3.2.3.2. Pour le mois de Mars

VI.3.2.3.3. Pour le mois de Juin

VI.3.3. POUR L'ORIENTATION EST

VI.3.3.1. OMBRAGE ET ENSOLEILLEMENT

VI.3.3.1.1. Pour le mois de décembre

VI.3.3.1.2. Pour le mois de Mars

VI.3.3.1.3. Pour le mois de Juin

VI.3.3.2. TEMPERATURE INTERIEURE

VI.3.3.2. 1. Pour le mois de Décembre

VI.3.3.2. 2. Pour le mois de Mars

VI.3.3.2. 3. Pour le mois de Juin

VI.3.3.3. SYNTHESE DES RESULTATS DES SIMULATIONS SELON
L'ORIENTATION EST

VI.3.3.3.1. Pour le mois de Décembre

VI.3.3.3.2. Pour le mois de Mars

VI.3.3.3.3. Pour le mois de Juin

VI.3.4. POUR L'ORIENTATION OUEST

VI.3.4.1. OMBRAGE ET ENSOLEILLEMENT

VI.3.4.1.1. Pour le mois de décembre

VI.3.4.1.2. Pour le mois de Mars

VI.3.4.1.3. Pour le mois de Juin

VI.3.4.2. TEMPERATURE INTERIEURE

VI.3.4.2. 1. Pour le mois de Décembre

VI.3.4.2.2. Pour le mois de Mars

VI.3.4.3. SYNTHESE DES RESULTATS DES SIMULATIONS SELON L'ORIENTATION
OUEST

VI.3.4.3.1. Pour le mois de Décembre

VI.3.4.3.2. Pour le mois de Mars

VI.3.4.3.3. Pour le mois de Juin

VI.4. CONCLUSION

CONCLUSION GENERALE

LIMITES DE RECHERCHE ET RECOMMANDATIONS.

RECOMMANDATIONS