

CHAPITRE VI

ETUDE PAR SIMULATION DES PERFORMANCES ENERGETIQUES DES CEM

INTRODUCTION

Dans ce chapitre nous présentons les résultats des simulations obtenus par le 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 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 :

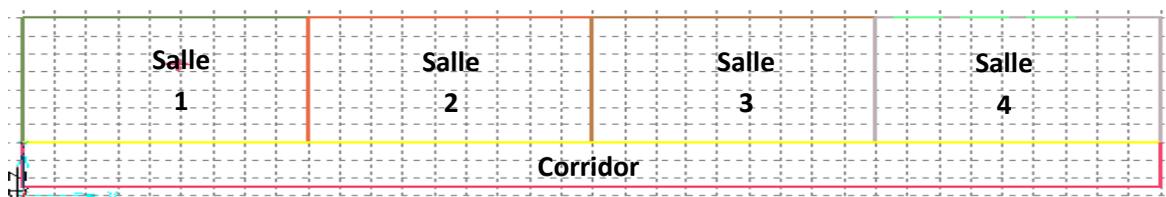


Figure.VI.1. Le regroupement des salles de classe dans les CEM de type I.

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 :

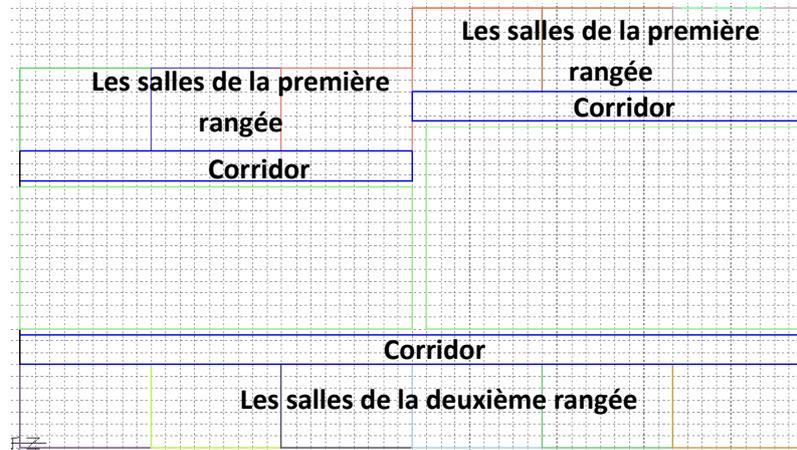


Figure.VI.2. Le regroupement des salles dans les CEM de type II.

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.

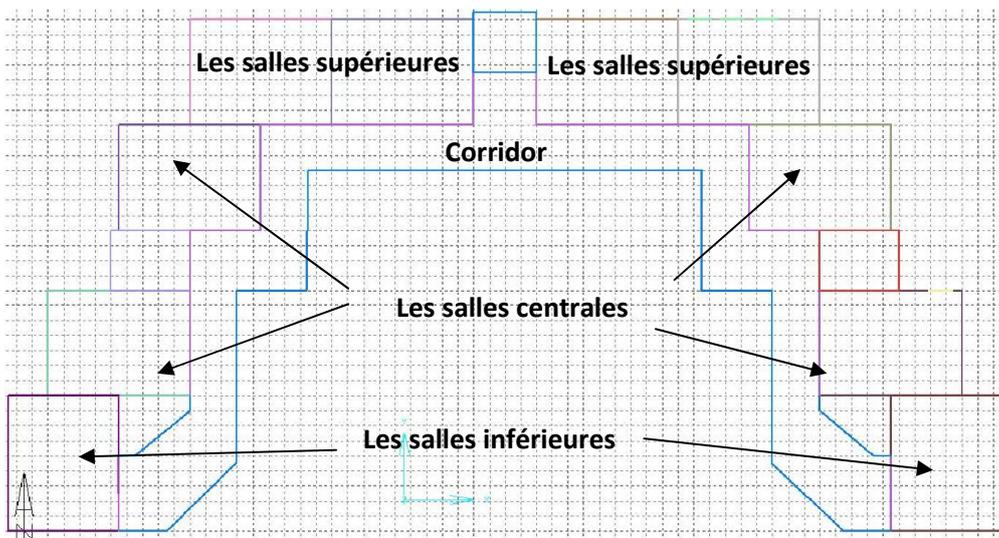


Figure.VI.3. Le regroupement des salles dans le type III.

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) :

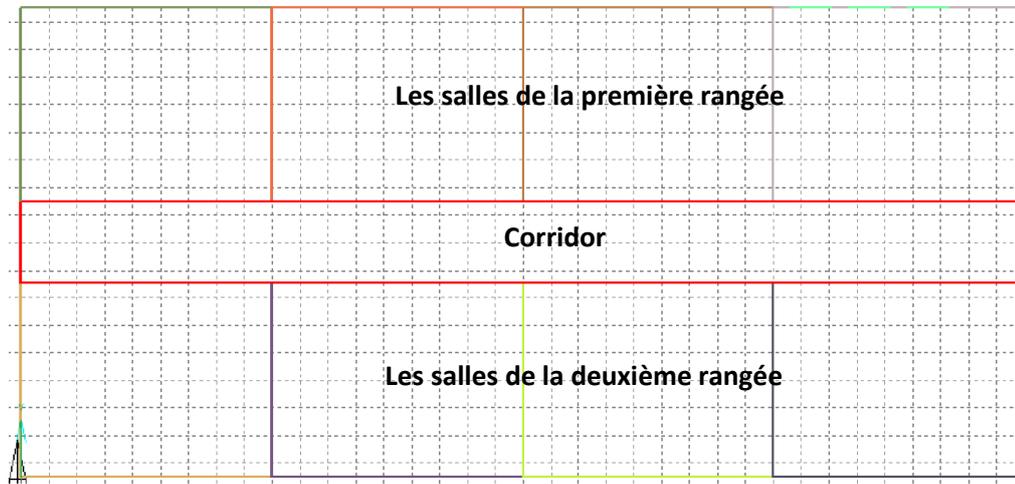


Figure.VI.4. Le regroupement des salles dans le type IV.

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 :

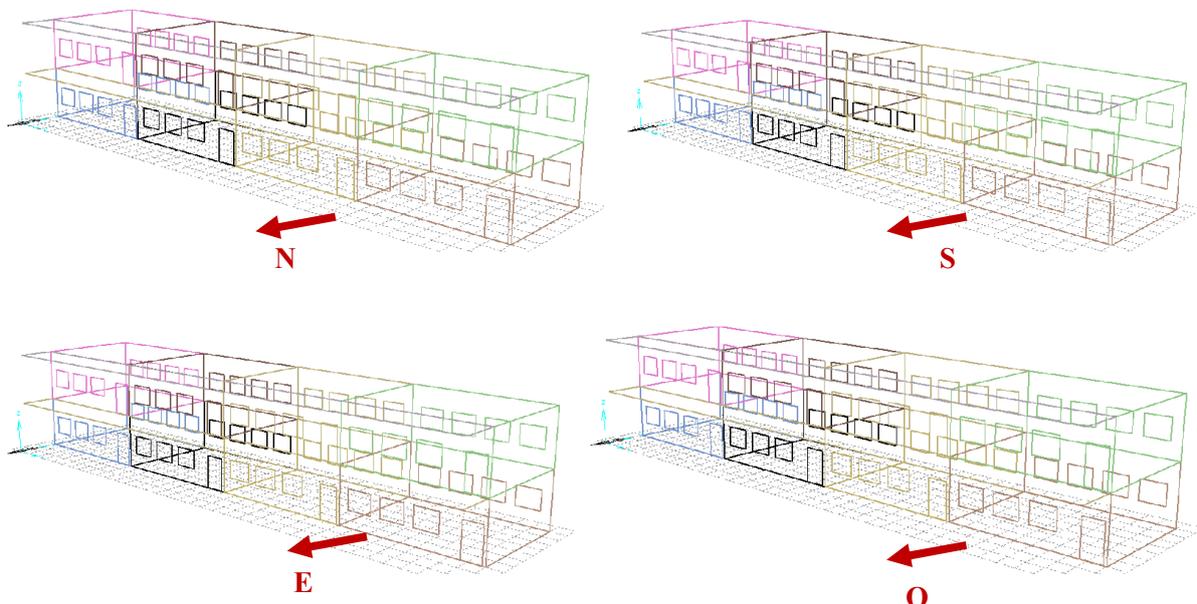


Figure.VI.5. Modèles à simuler pour étudier l'influence de l'orientation sur les performances énergétiques des CEM de type I.

- **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 :

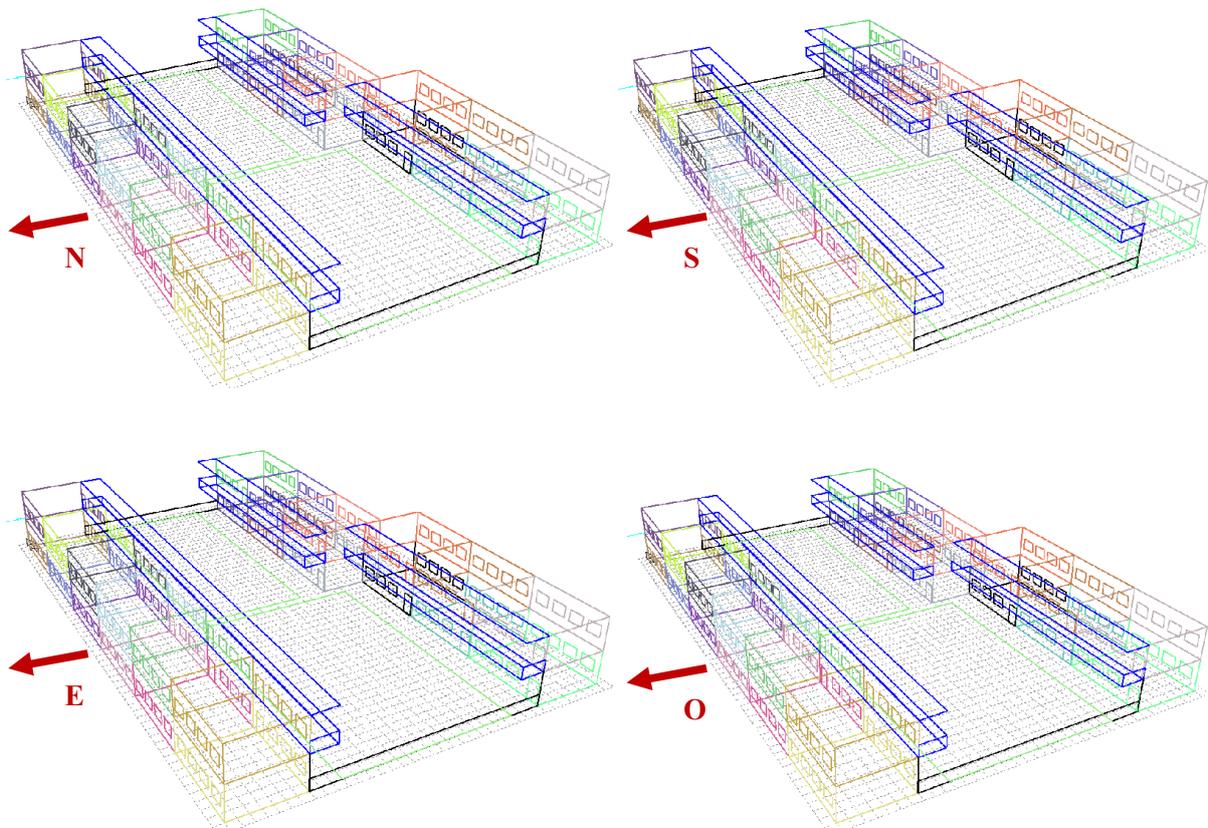


Figure.VI.6. Modèles à simuler pour étudier l'influence de l'orientation sur les performances énergétiques des CEM de type II.

- **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.

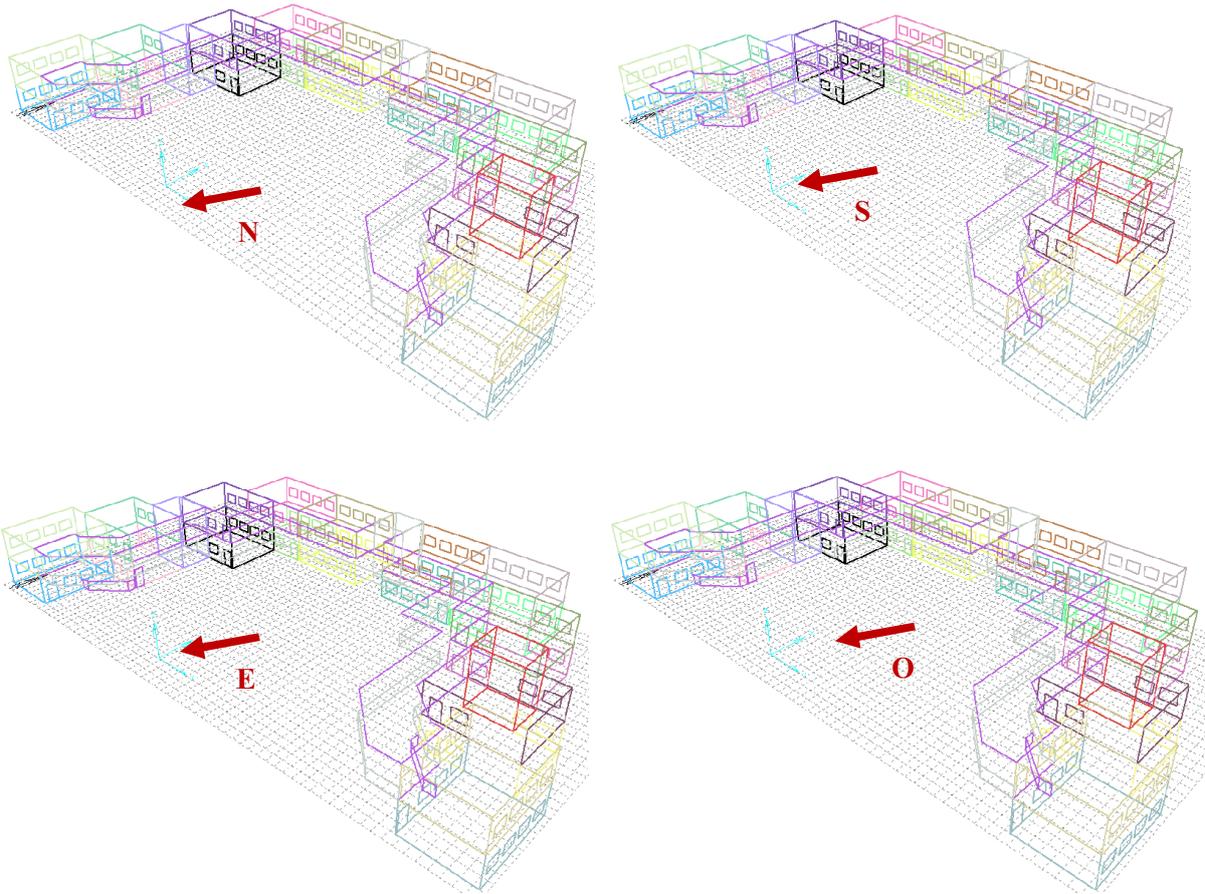


Figure.VI.7. Modèles à simuler pour étudier l'influence de l'orientation sur les performances énergétiques des CEM de type III.

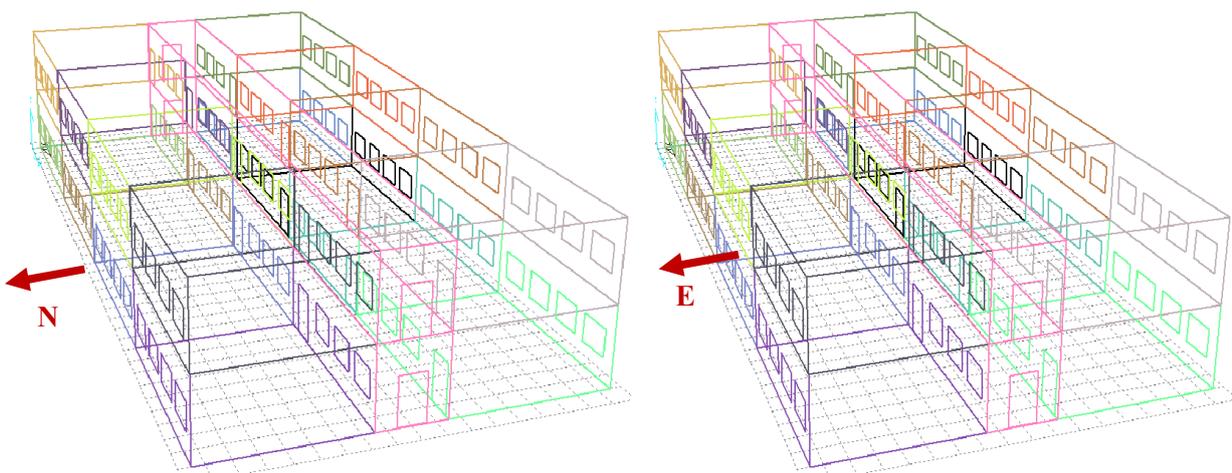


Figure.VI.8. Modèles à simuler pour étudier l'influence de l'orientation sur les performances énergétiques des CEM de type IV

- **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 ECOTECH, 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.

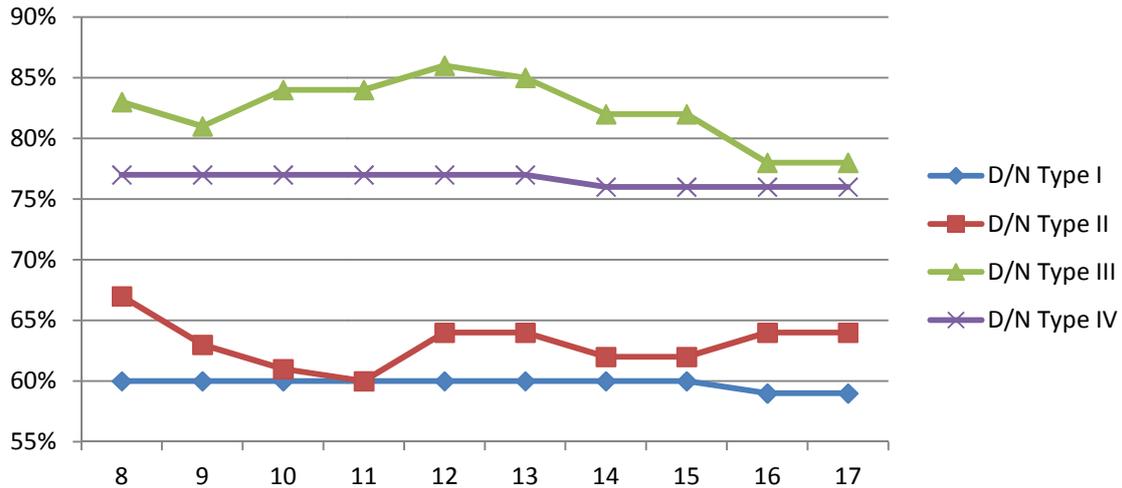


Figure .VI.9. Coefficients d'ombrages des quatre types de CEM durant le mois de décembre selon l'orientation Nord

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.

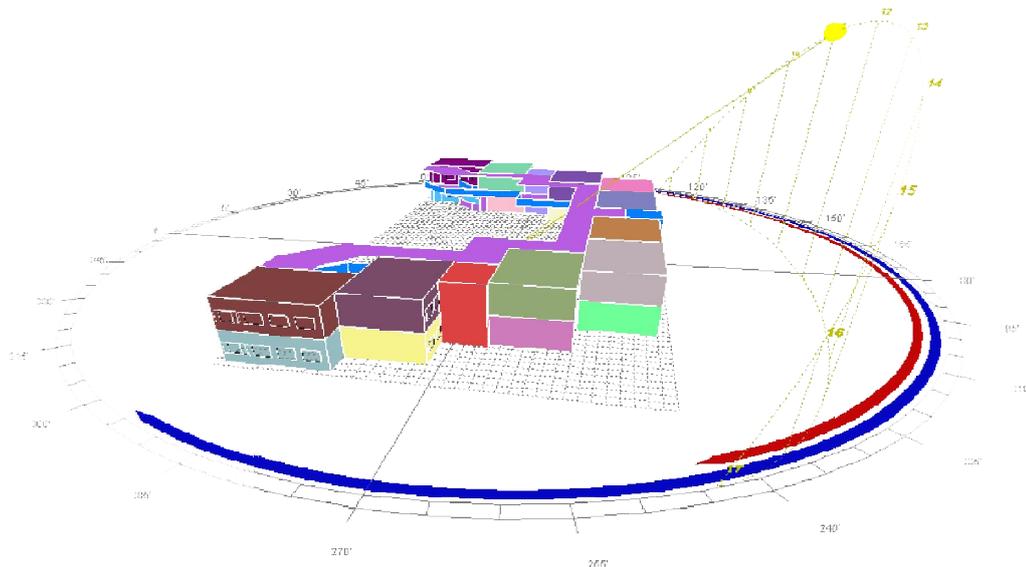


Figure.VI.10. Vue tridimensionnelle du type III orienté vers le Nord ainsi que la trajectoire du soleil pour le 21 Décembre.

- 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.

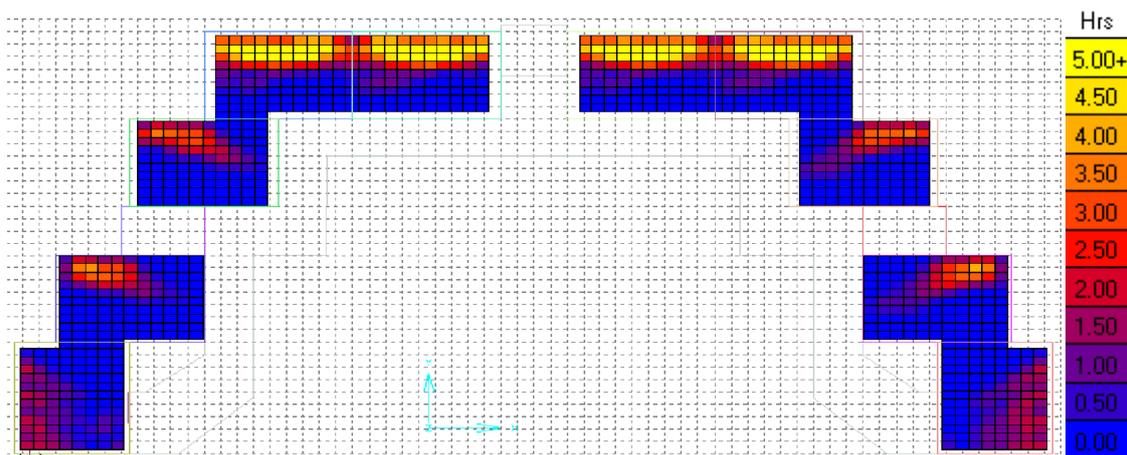


Figure VI.11. Cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Décembre pour le type III, avec une orientation NORD du corridor.

- 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.

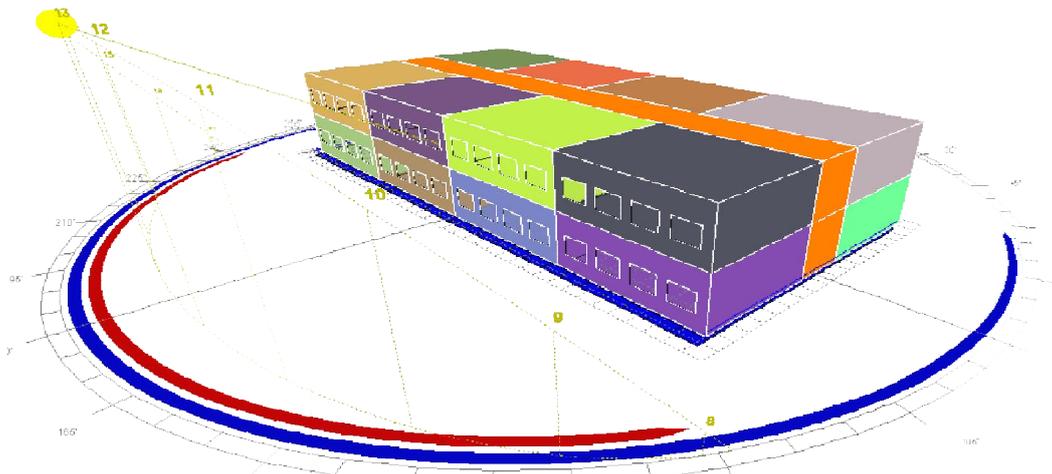


Figure.VI.12.a. Vue tridimensionnelle du type IV orienté vers le Nord ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Décembre.

- 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.

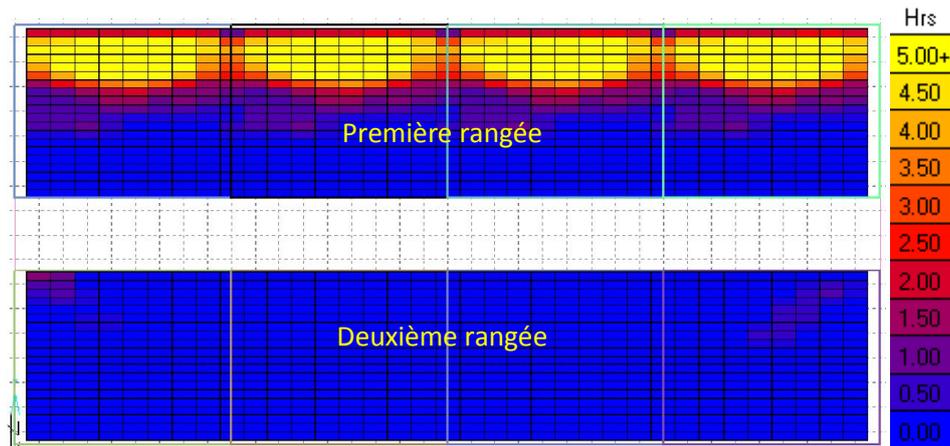


Figure VI.12.b. Cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Décembre pour le type IV, avec une orientation NORD du corridor.

- 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).

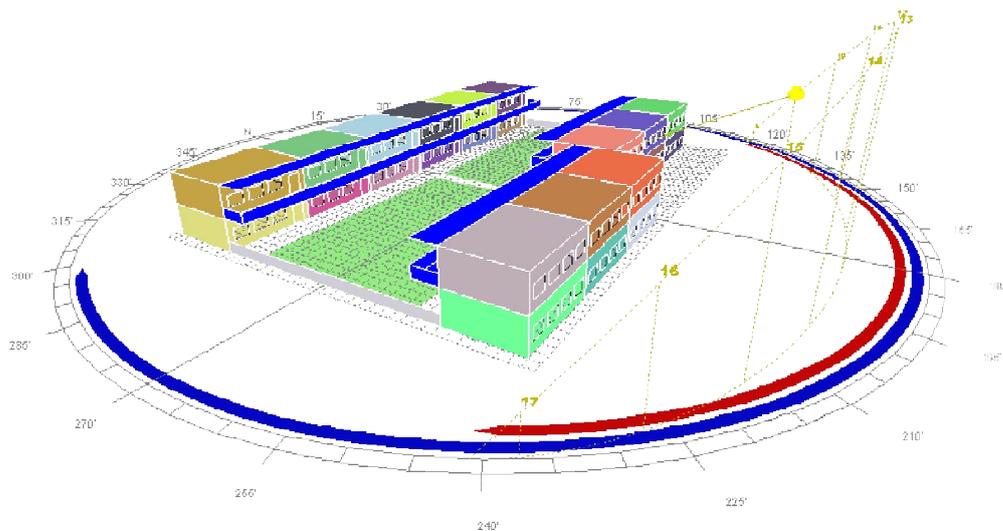


Figure.VI.13. Vue tridimensionnelle du type II orienté vers le Nord ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Décembre.

- 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.

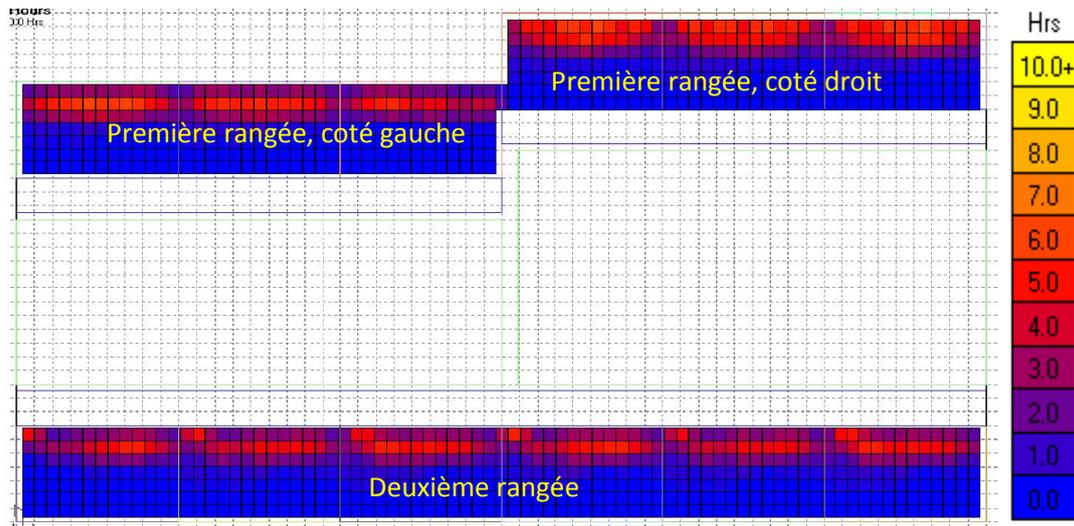


Figure VI.14. Cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Décembre pour le type II, avec une orientation NORD du corridor.

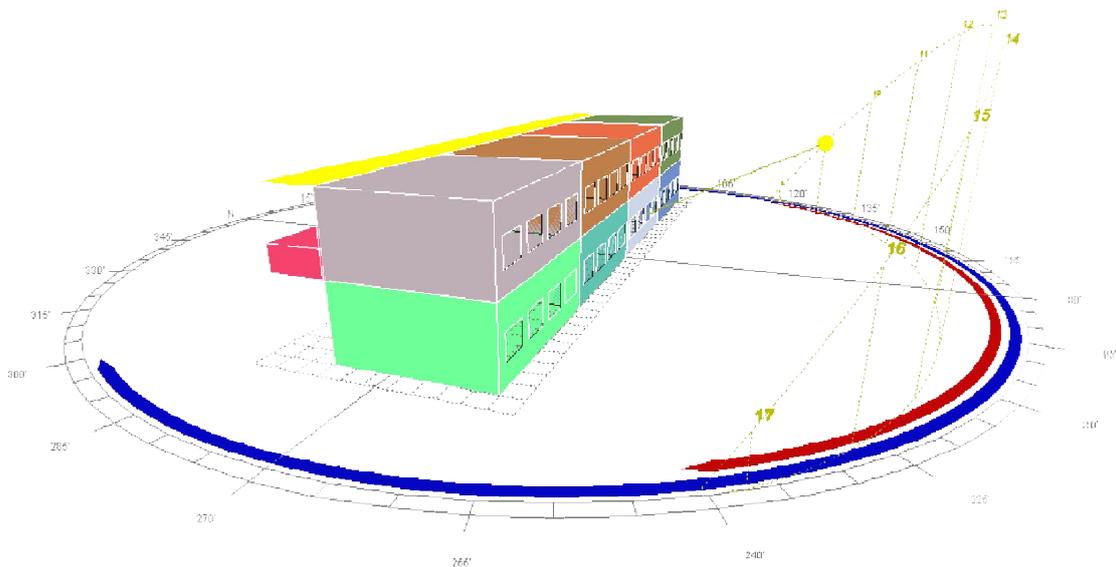
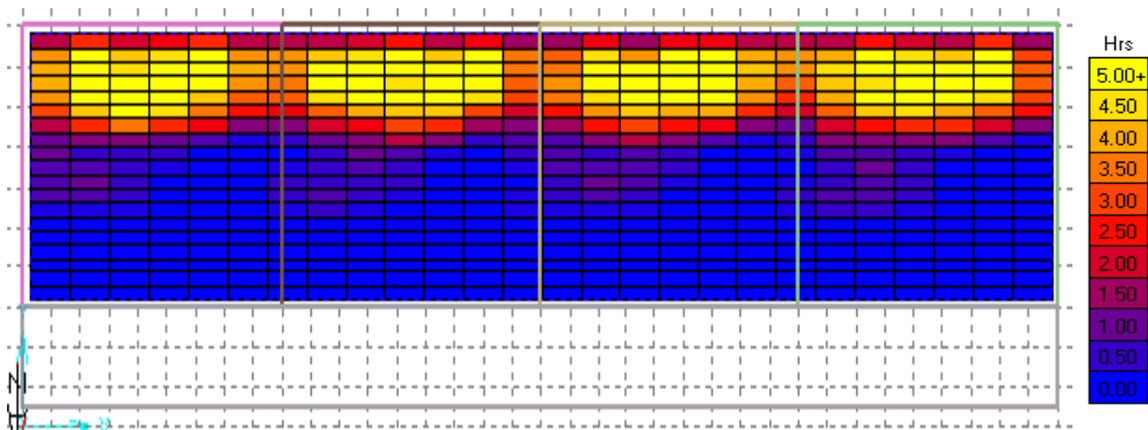


Figure.VI.15. Vue tridimensionnelle du type I orienté vers le Nord ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Décembre.

- 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.

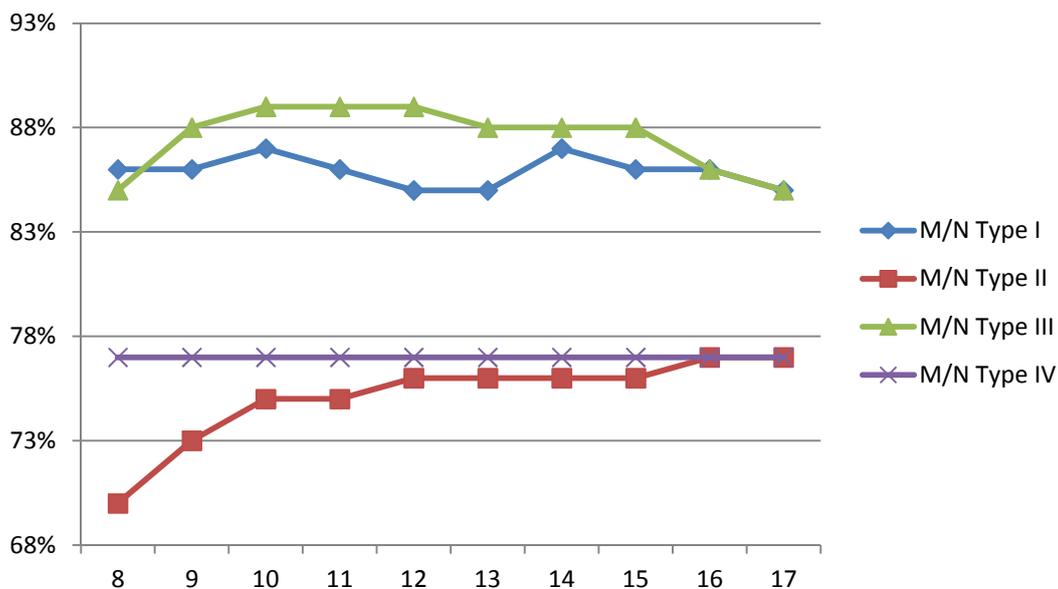
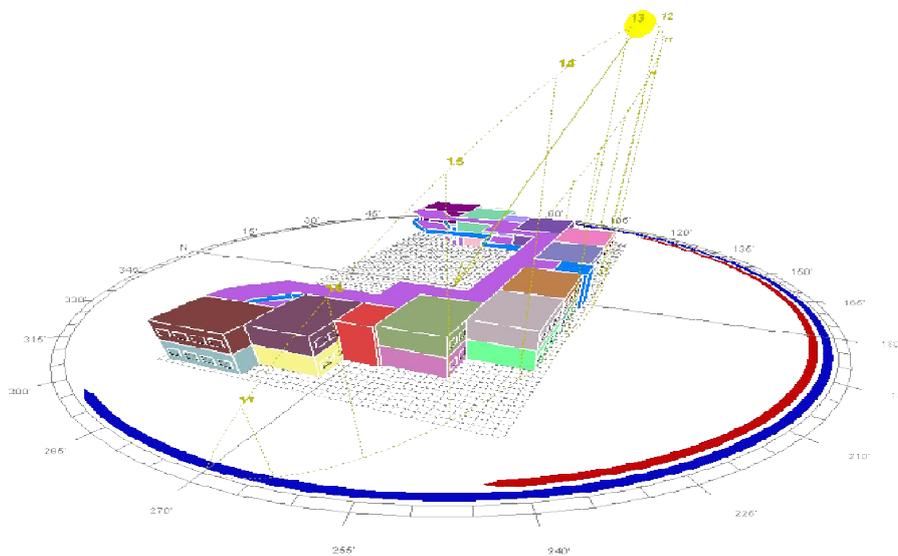


Figure VI.17. Coefficients d'ombrages des quatre types de CEM durant le mois de Mars selon l'orientation Nord

- 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’enseillement 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 ce concentre prêt 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.

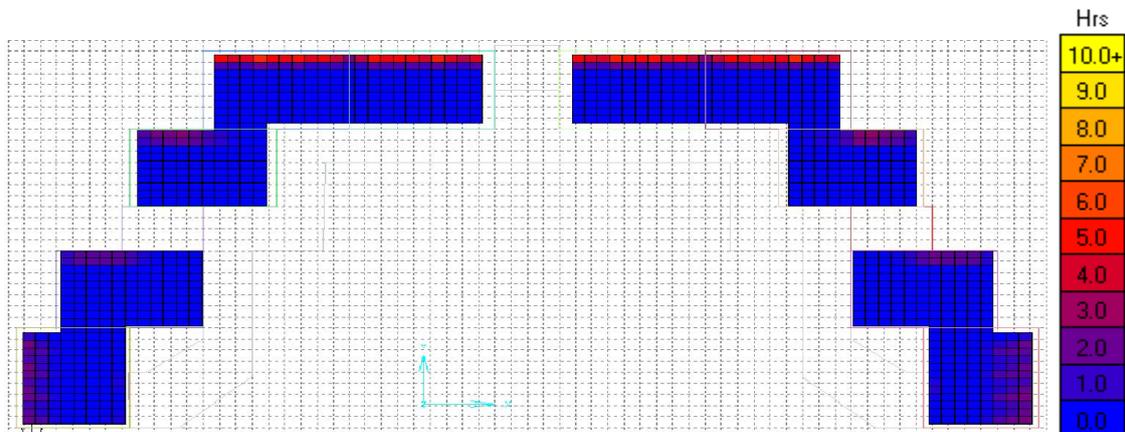


Figure VI.19. Cumul d’enseillement entre 8h et 17h du 21 Mars pour le type III, avec une orientation NORD du corridor.

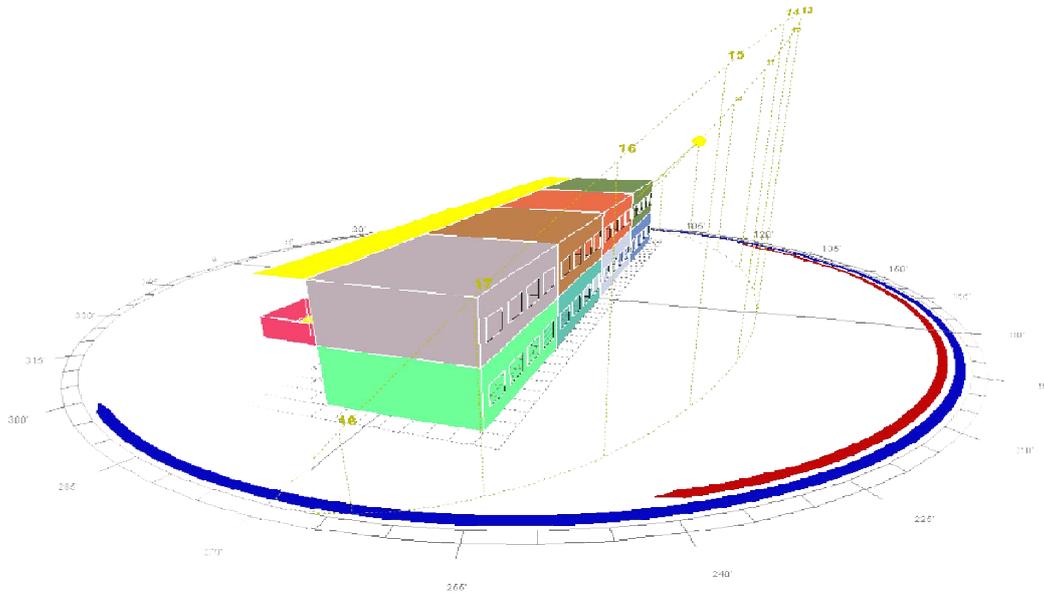


Figure.VI.20. Vue tridimensionnelle du type I orienté vers le Nord ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Mars.

- 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'enseillement 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'enseillement 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.

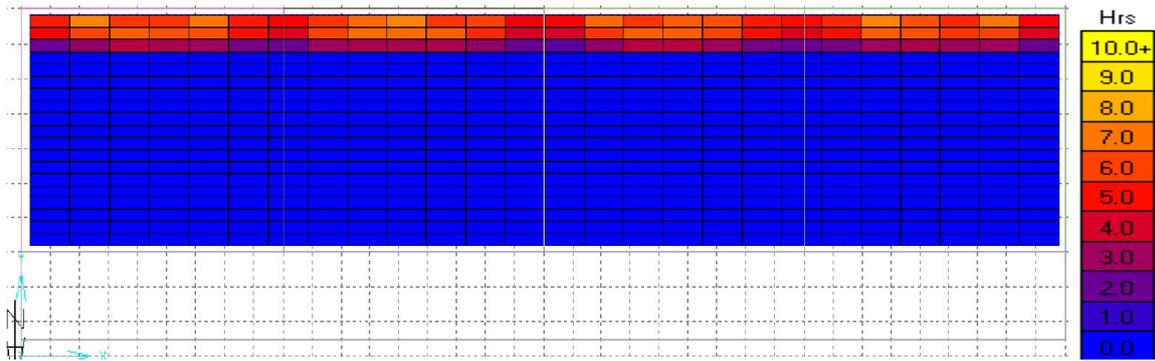


Figure VI.21. Cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Mars pour le type I, avec une orientation NORD du corridor.

- 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.

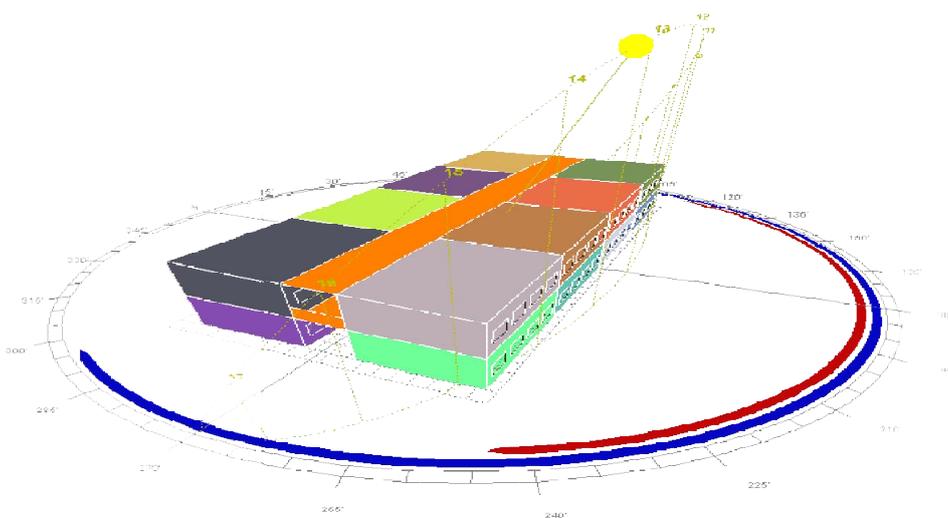


Figure.VI.22. Vue tridimensionnelle du type IV orienté vers le Nord ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Mars.

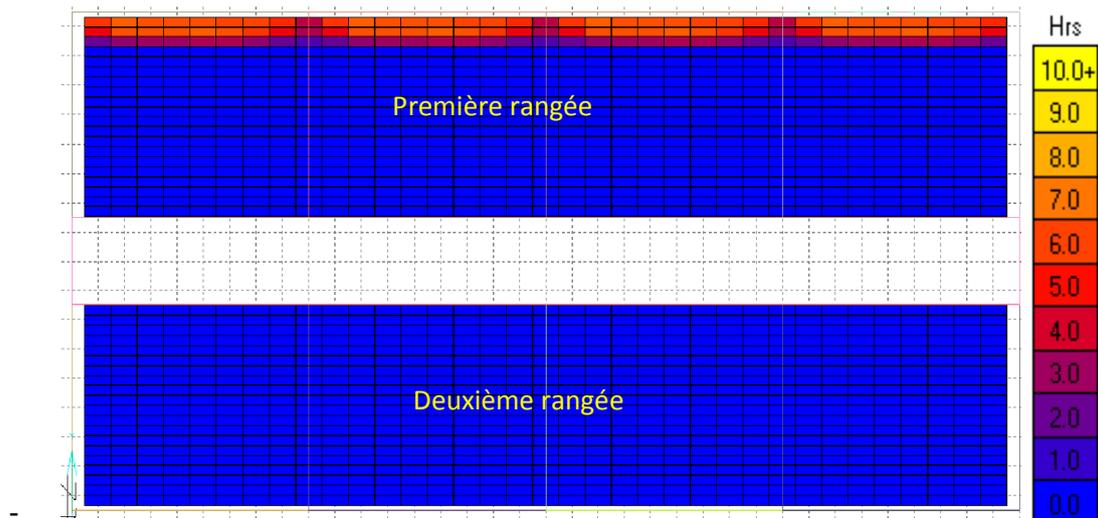


Figure VI.23. Cumul d'insolation entre 8h et 17h du 21 Mars pour le type IV, avec une orientation NORD du corridor.

- 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.

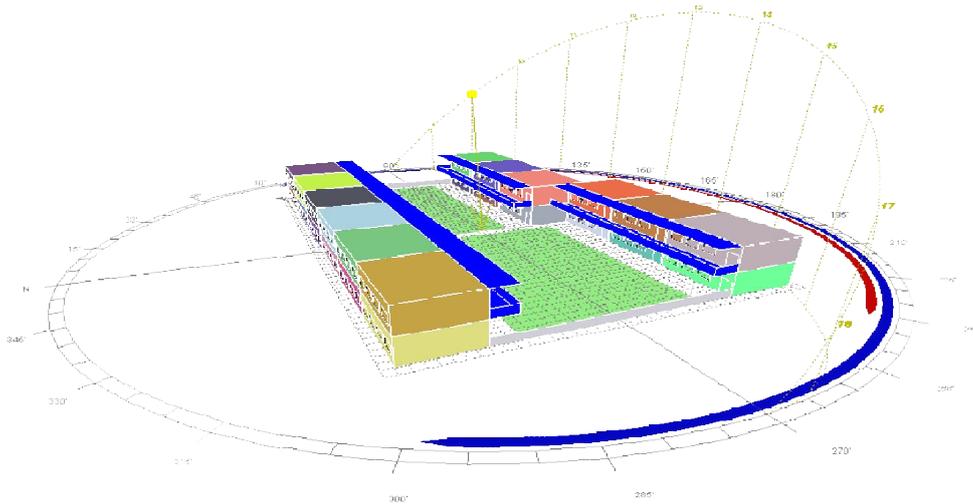


Figure.VI.24. Vue tridimensionnelle du type IV orienté vers le Nord ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Mars.

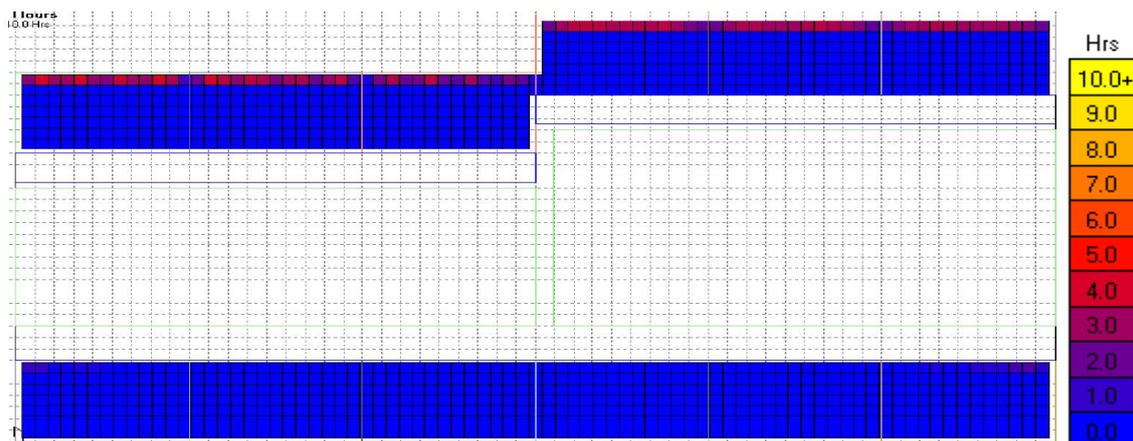


Figure VI.25. Cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Mars pour le type II, avec une orientation NORD du corridor.

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 :

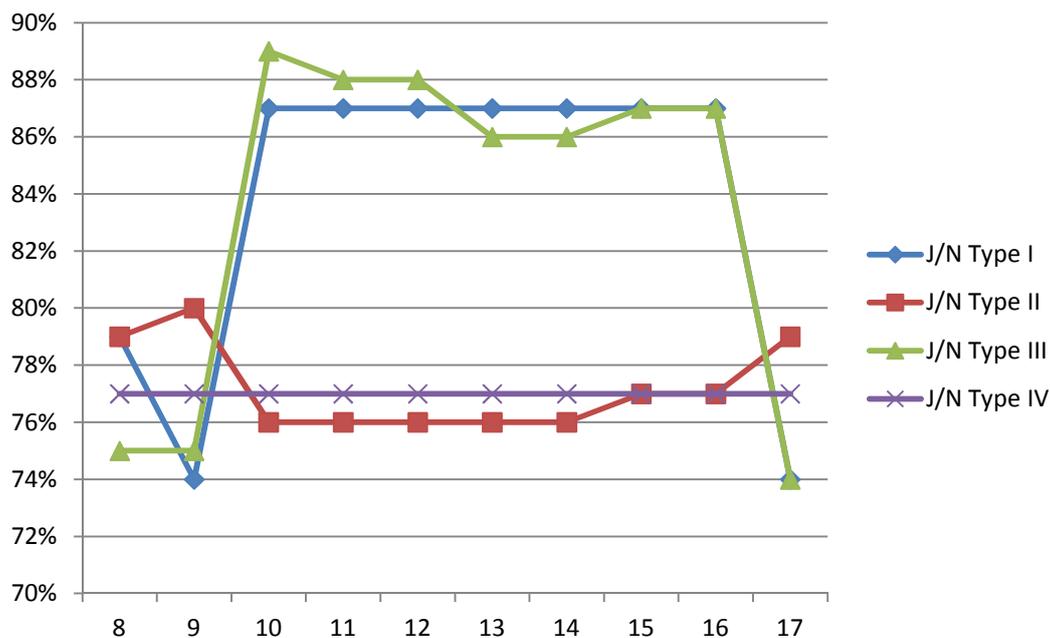
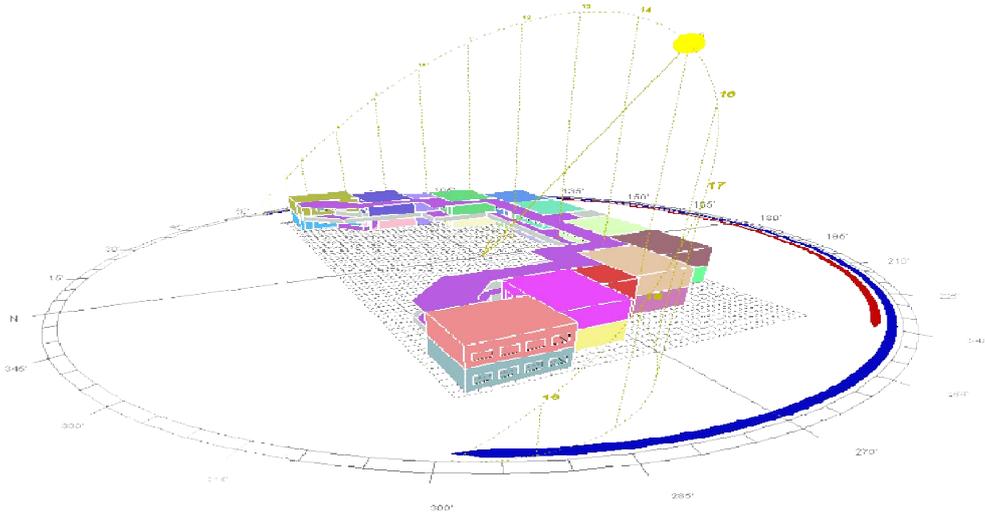


Figure VI.26. Coefficients d'ombrages en pourcentages des quatre types de CEM durant le mois de Juin selon l'orientation Nord.

- 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.

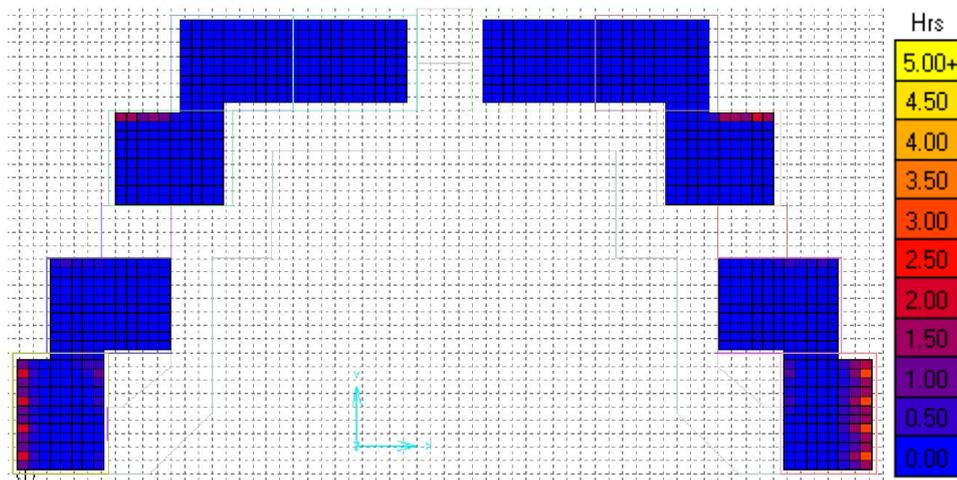


Figure VI.28. Cumul d'ensoleillement entre 8h et 17h du 21 Juin pour le type III, avec une orientation NORD du corridor.

- 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.

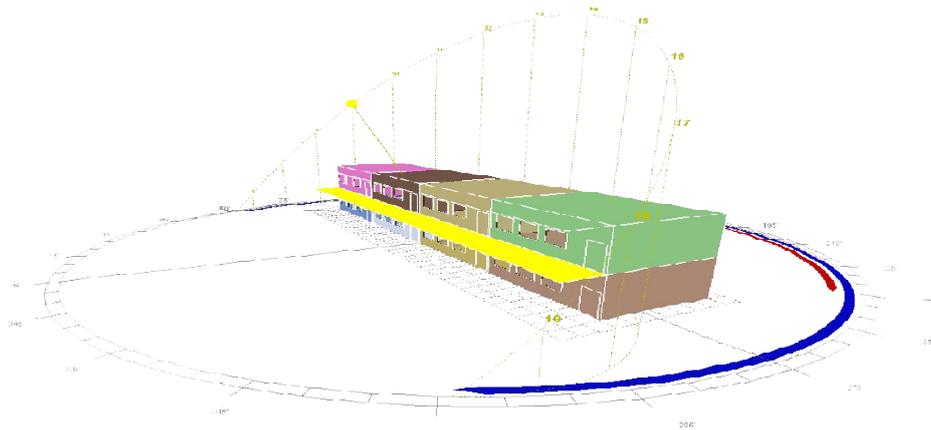


Figure.VI.29. Vue tridimensionnelle du type I orienté vers le Nord ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Juin.



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.

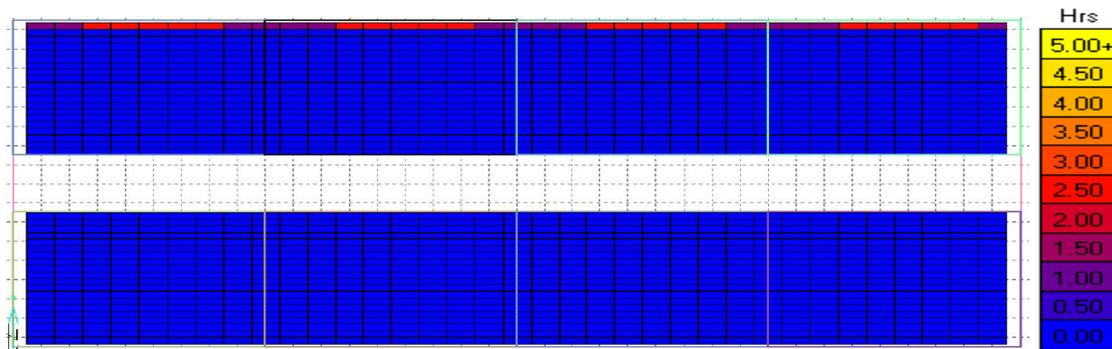


Figure VI.31. Cumul d'ensoleillement entre 8h et 17h du 21 Juin pour le type IV, avec une orientation NORD du corridor.

- 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.

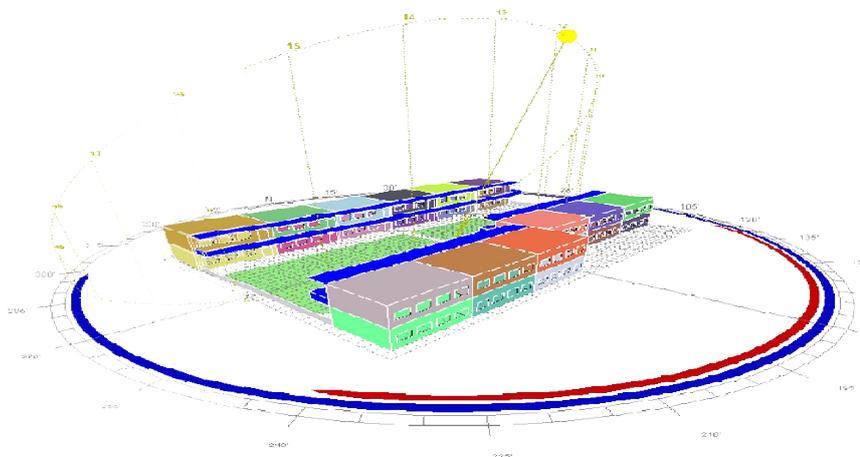


Figure.VI.32. Vue tridimensionnelle du type II orienté vers le Nord ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Juin.

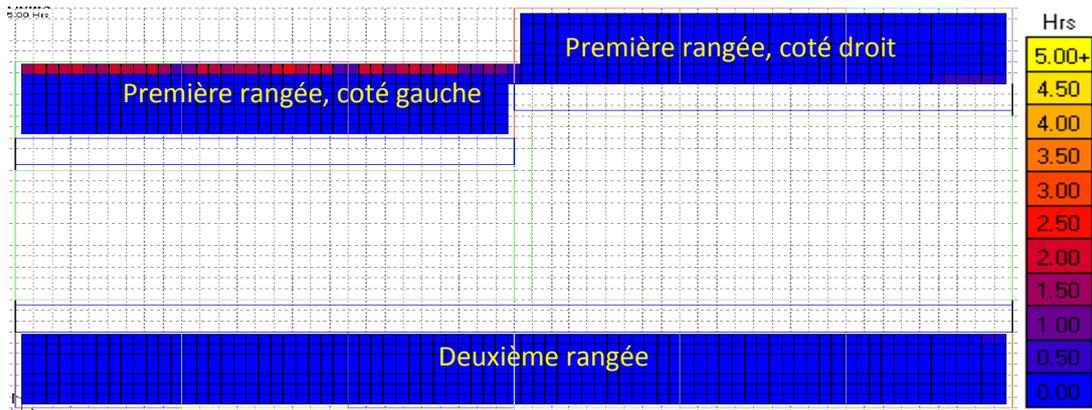


Figure.VI.33. Cumul d'ensoleillement entre 8h et 17h du 21 Juin pour le type II, avec une orientation NORD du corridor.

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.

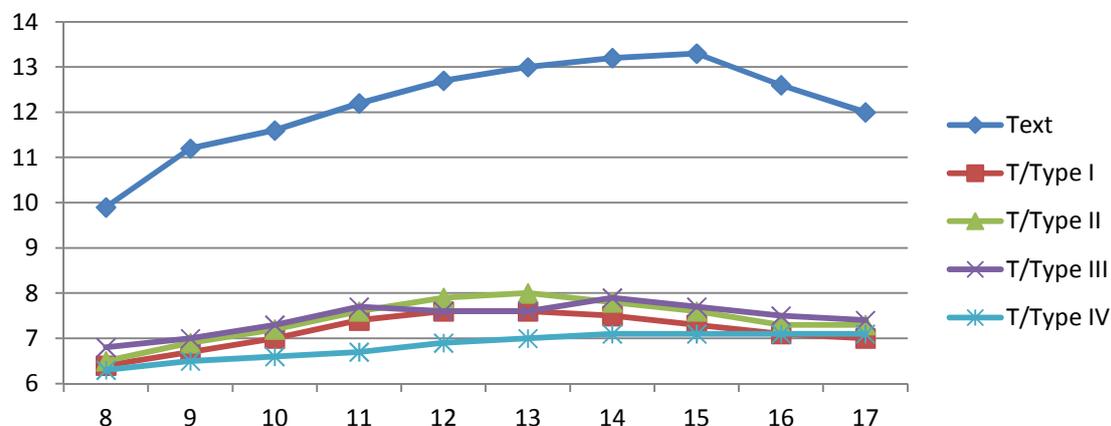


Figure VI.34. Température extérieure et températures intérieures des salles des quatre types de CEM pour la journée du 21 Décembre.

- 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.

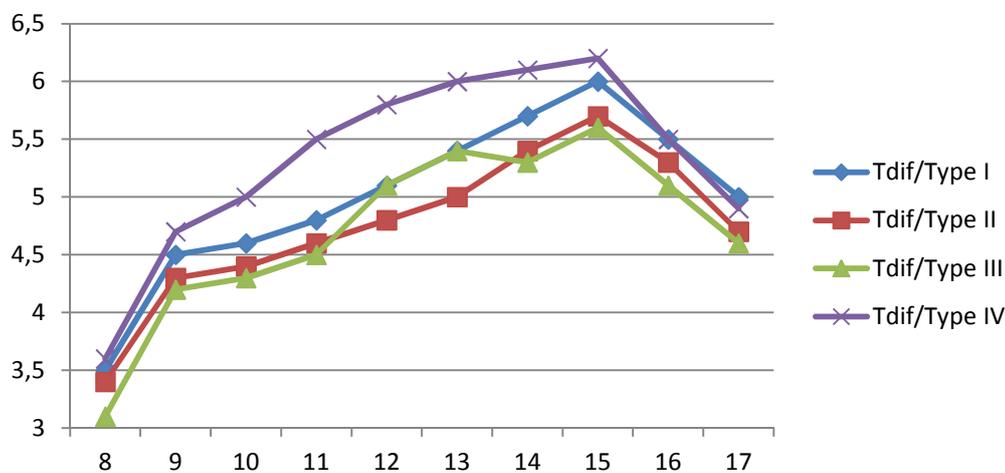


Figure VI.35. Gradients de températures des quatre types de CEM pour la journée du 21 Décembre.

- ***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.

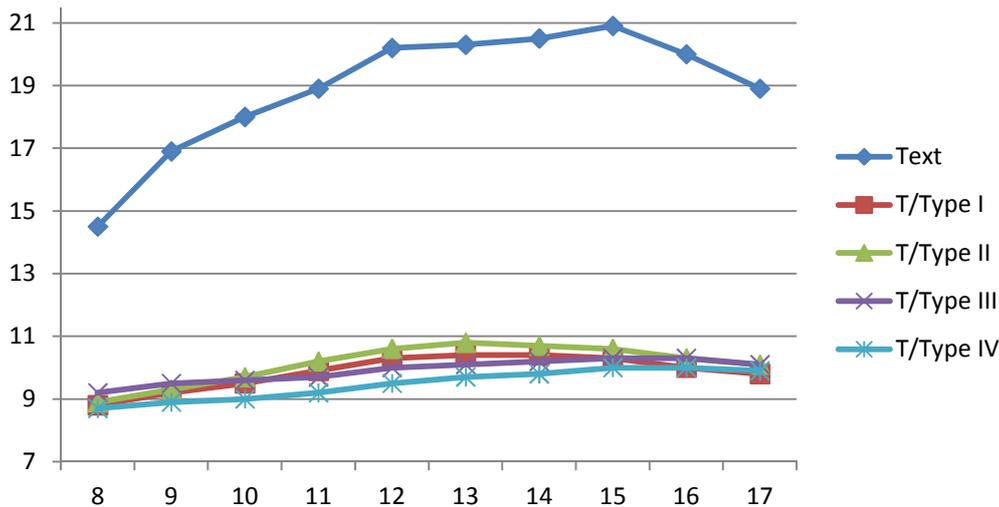


Figure VI.36. Température extérieure pour la journée du 21 Mars et les températures intérieures des salles des quatre types de CEM.

- 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,

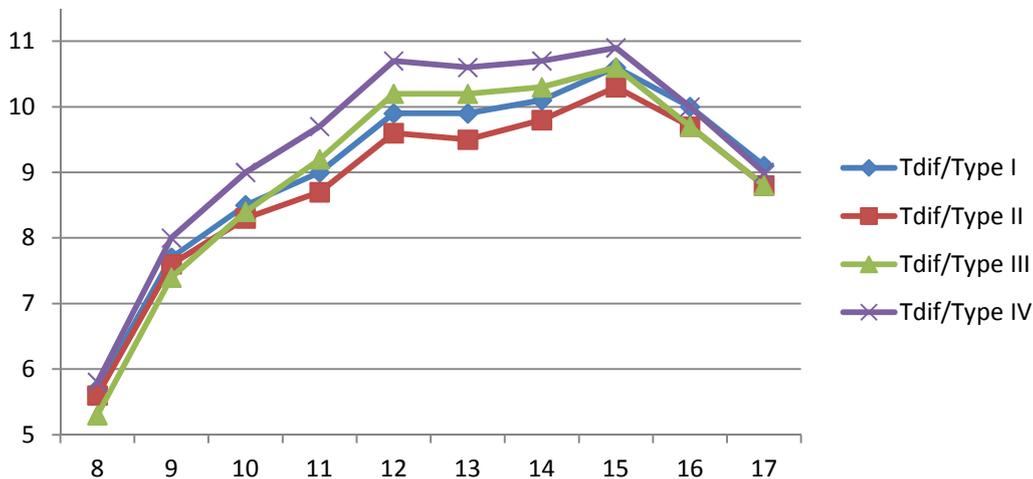


Figure VI.37. Gradients de températures des quatre types de CEM pour la journée du 21 Mars.

- *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.*

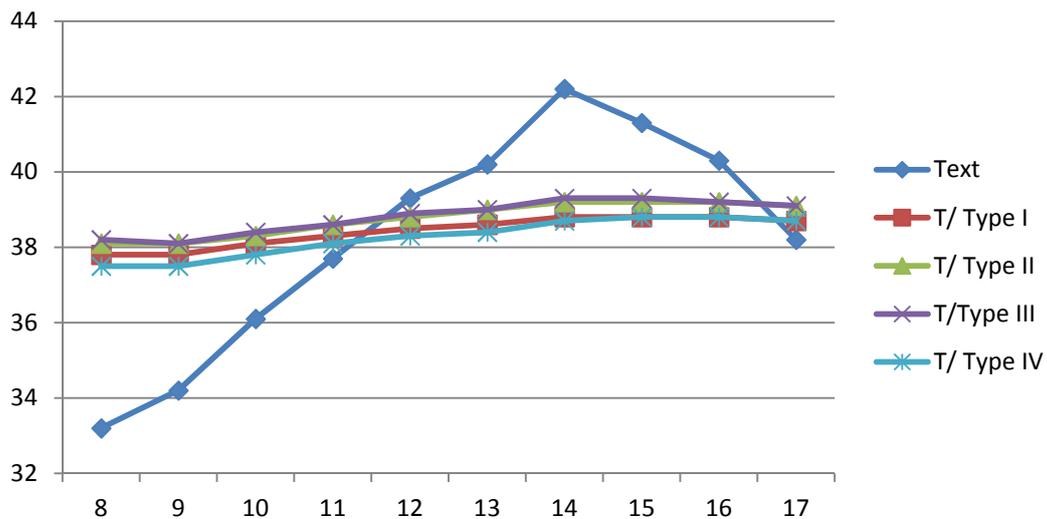


Figure VI.38. Température à l’extérieur pour la journée du 21 Juin et les températures à l’intérieure des salles des quatre types de CEM.

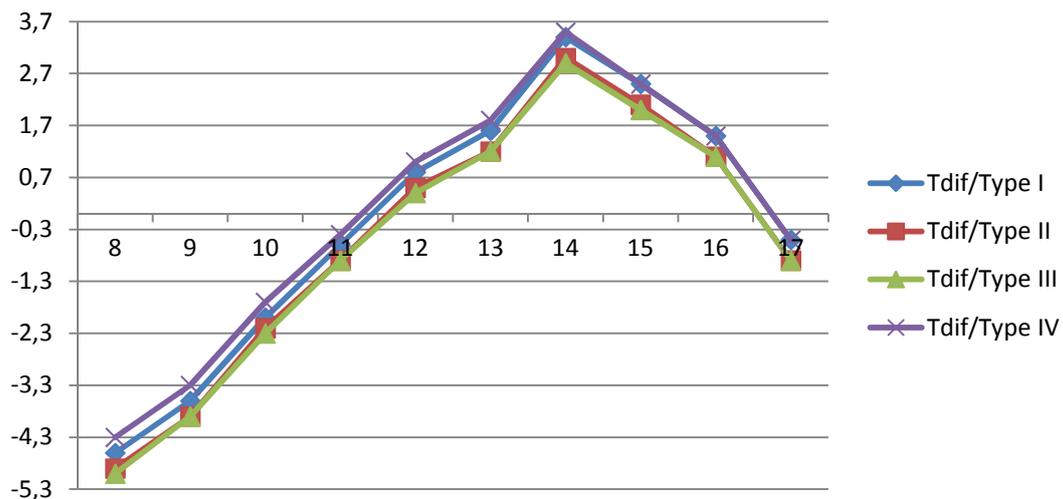


Figure VI.39. Gradients des températures des quatre types de CEM pour la journée du 21 Juin.

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

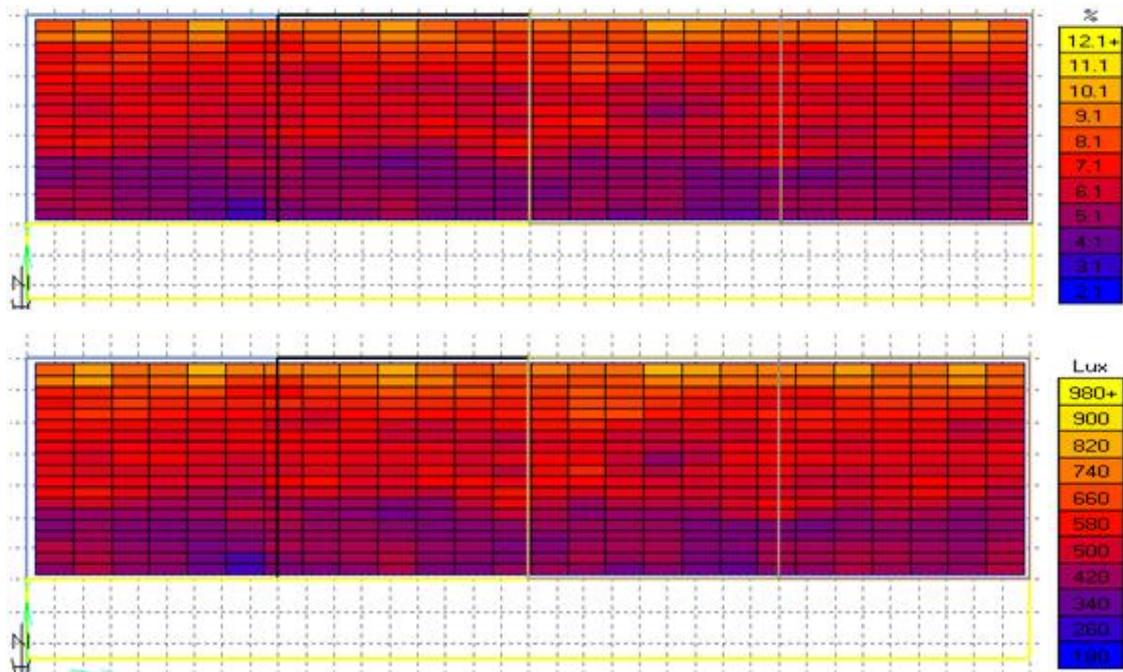


Figure VI.40. Répartition du facteur de lumière du jour (FLJ) dans les salles de classe de type I en (%) et en (Lux) respectivement.

- 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.

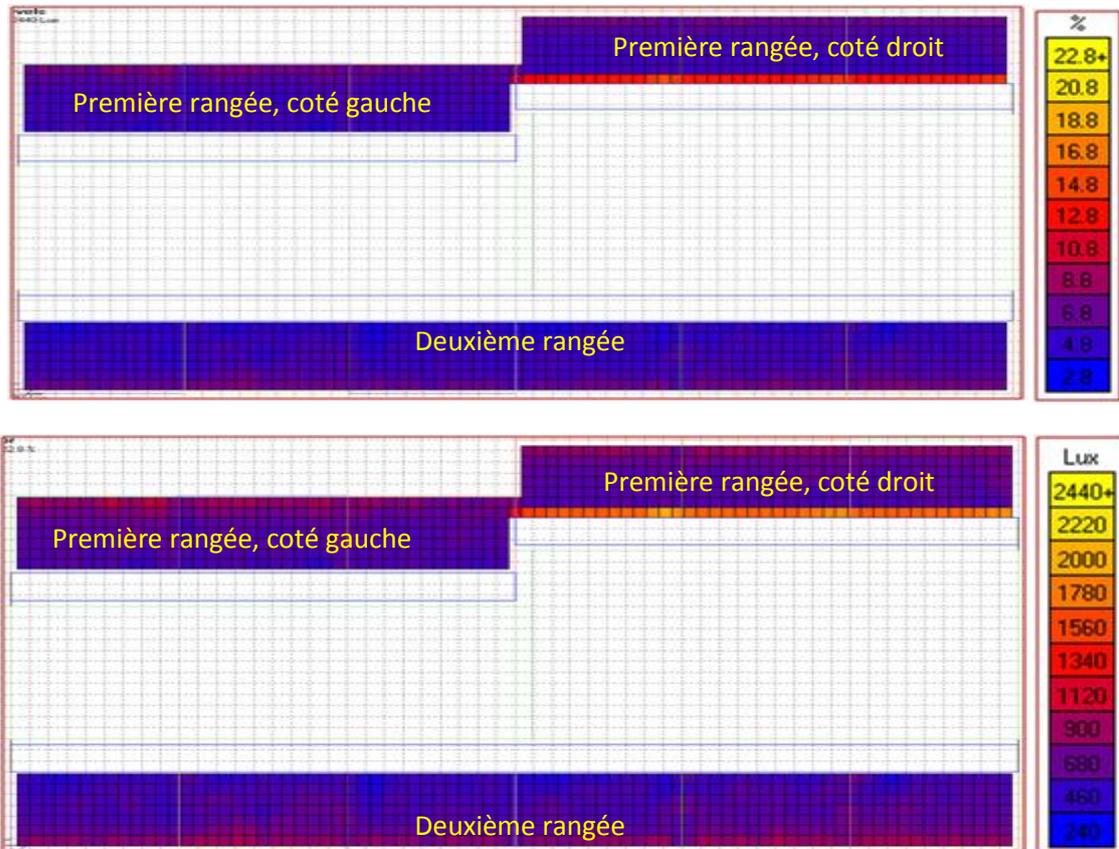


Figure VI.41. Répartition du facteur de lumière du jour (FLJ) dans les salles de classe de type II en (%) et en (Lux) respectivement.

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 coté 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 coté 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. 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

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.

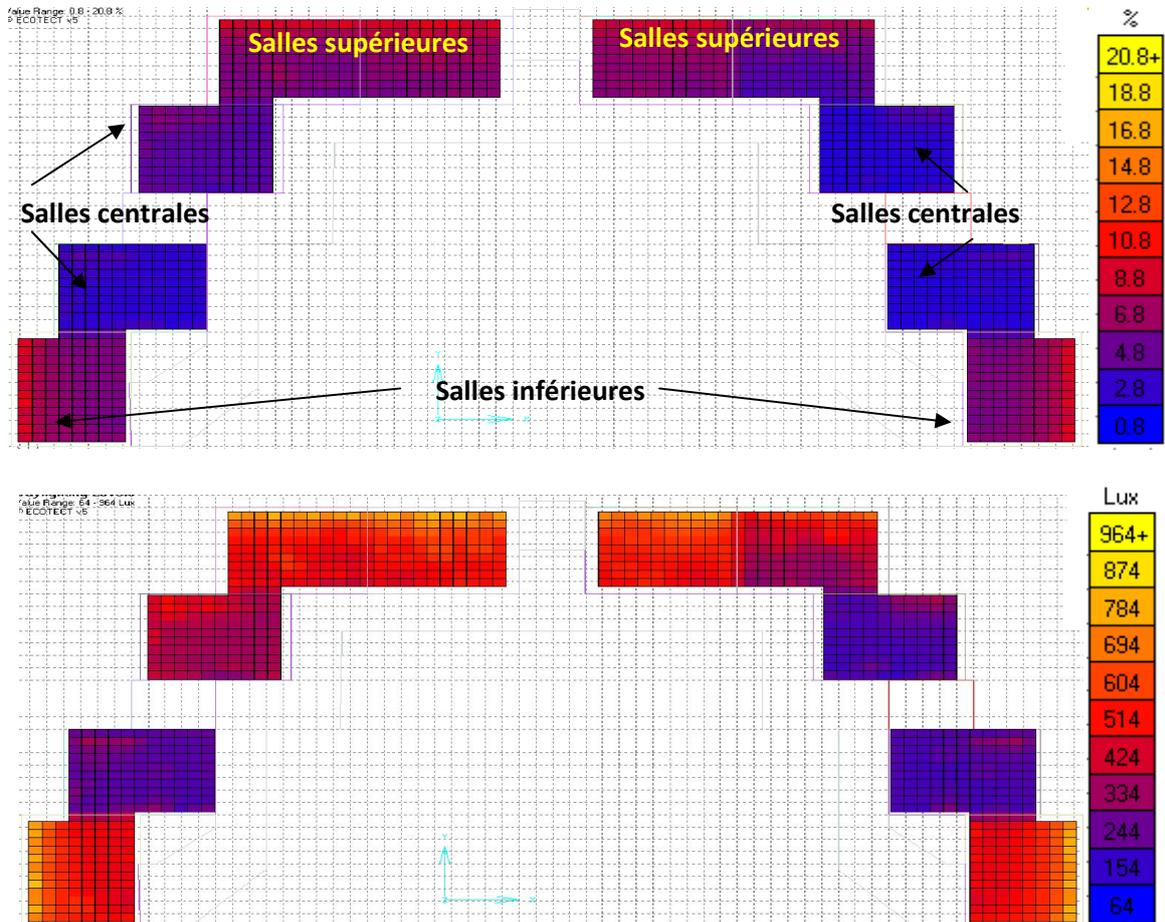


Figure VI.42. Répartition du facteur de lumière du jour (FLJ) dans les salles de classe de type III en (%) et en (Lux) respectivement.

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.

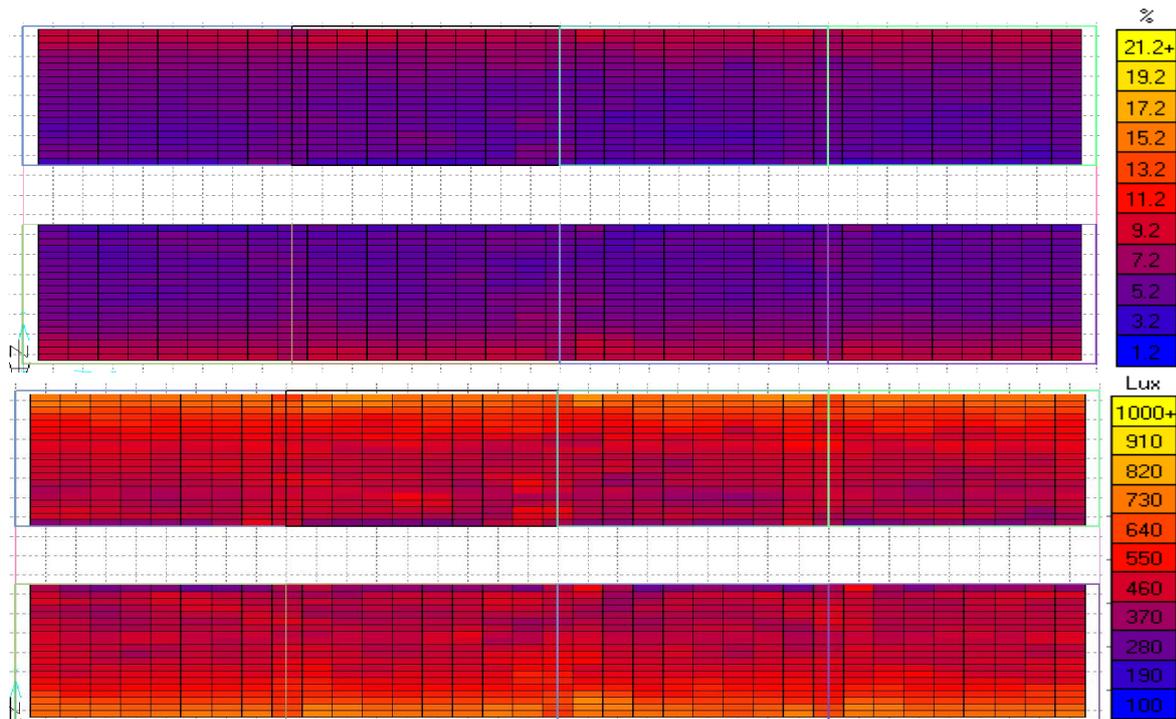


Figure VI.43. Répartition du facteur de lumière du jour (FLJ) dans les salles de classe de type IV en (%) et en (Lux) respectivement.

VI.3.1.4. SYNTHÈSE DES RESULTATS DES SIMULATIONS

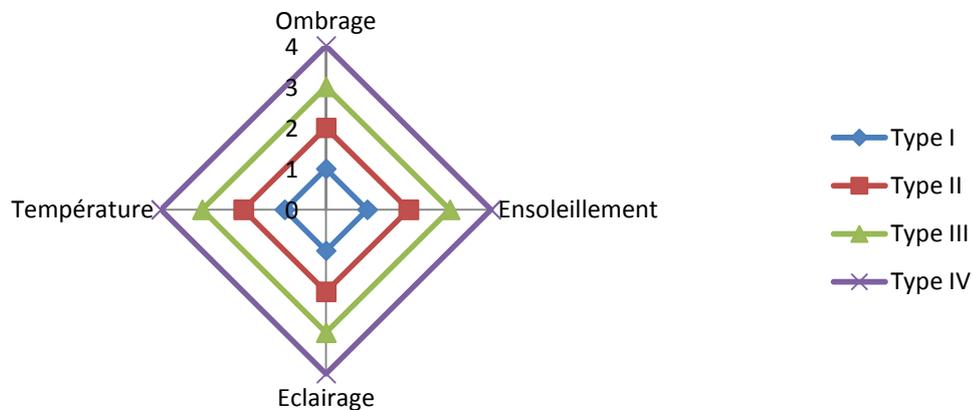
Dans le but de déterminer le type de CEM le plus performant énergétiquement selon les quatre orientations étudiées (Nord, Sud, Est et Ouest), nous avons résumés les résultats des simulations obtenues et présentés précédemment, sous forme de diagramme radar, dans lequel en même temps une étude comparative 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 :

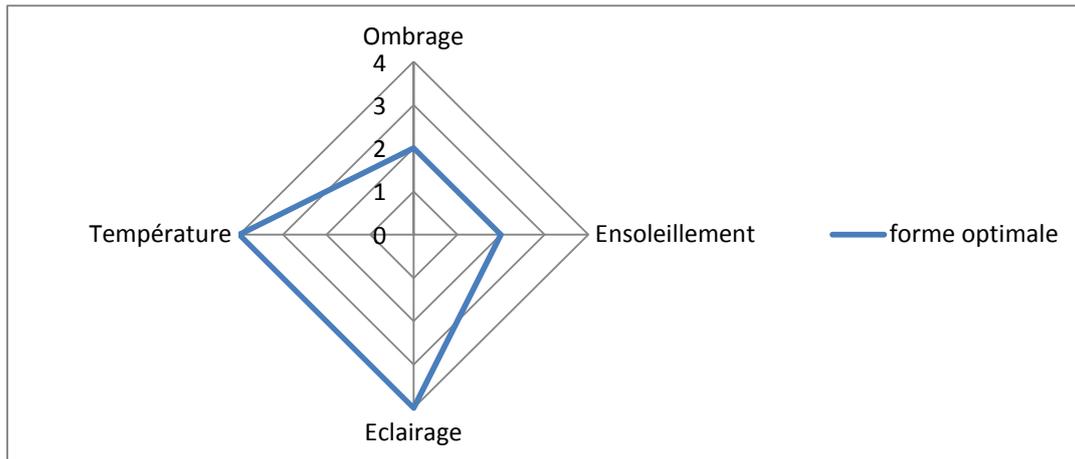


Figure.VI.44. La forme du diagramme optimal pour le mois de Décembre.

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 :

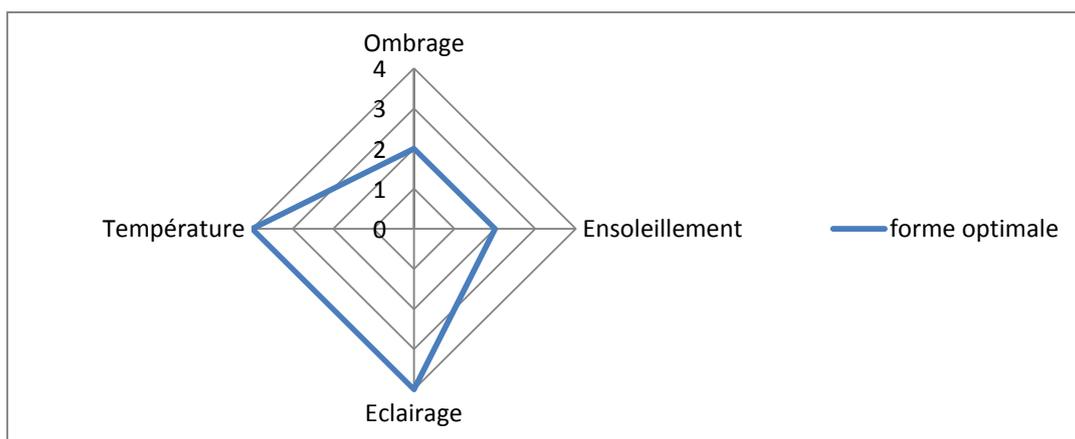


Figure.VI.45. La forme du diagramme optimal pour le mois de Mars.

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 :

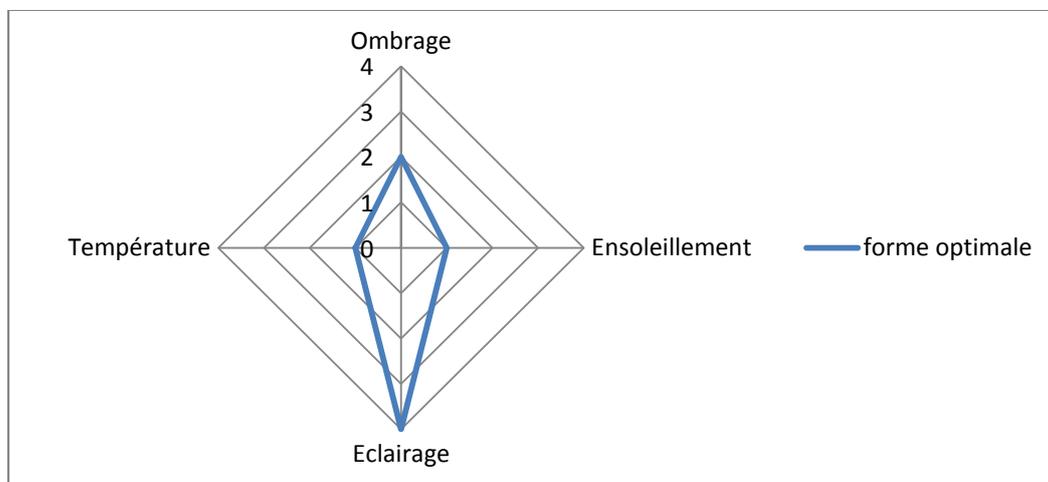


Figure.VI.46. La forme du diagramme optimal pour le mois de Juin.

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).

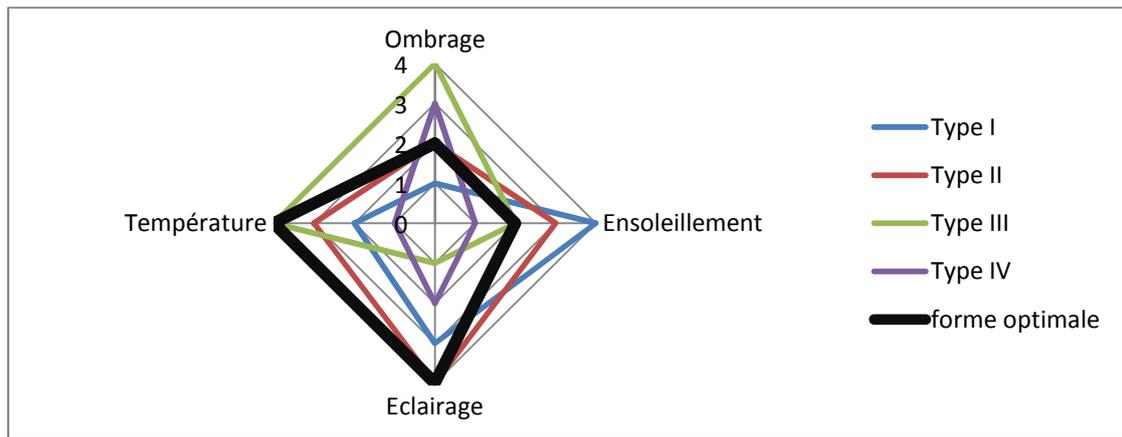


Figure. VI.47. Diagrammes radar des paramètres des quatre types de CEM, ainsi que le diagramme optimal, pour le mois de Décembre.

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 :

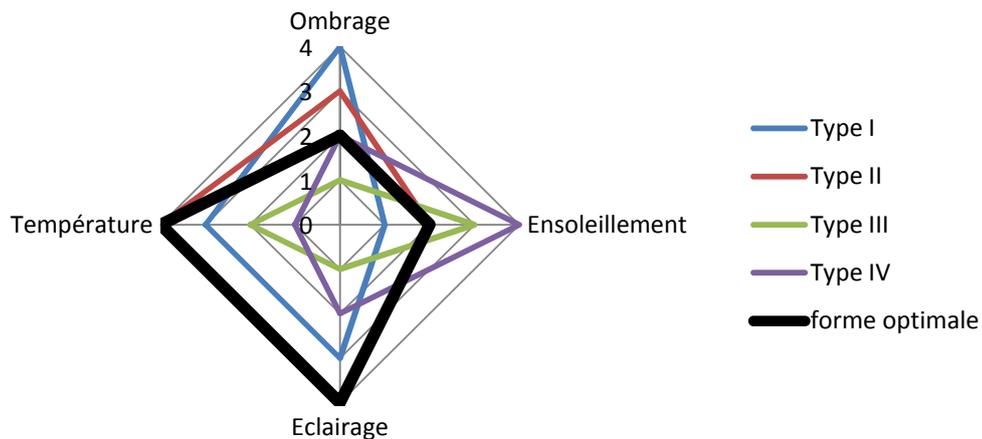


Figure. VI.48. Diagrammes radar des paramètres des quatre types de CEM, ainsi que le diagramme optimal, pour le mois de Mars.

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 :

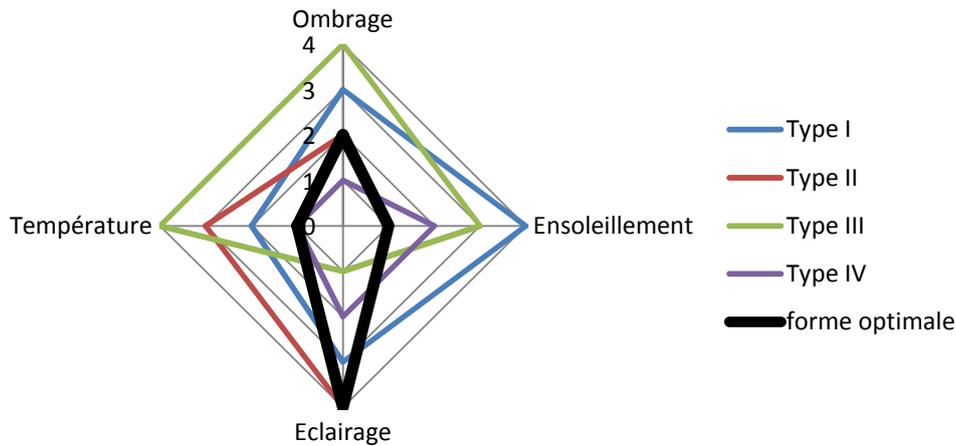


Figure. VI.49. Diagrammes radar des paramètres des quatre types de CEM, ainsi que le diagramme optimal, pour le mois de Juin.

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 :

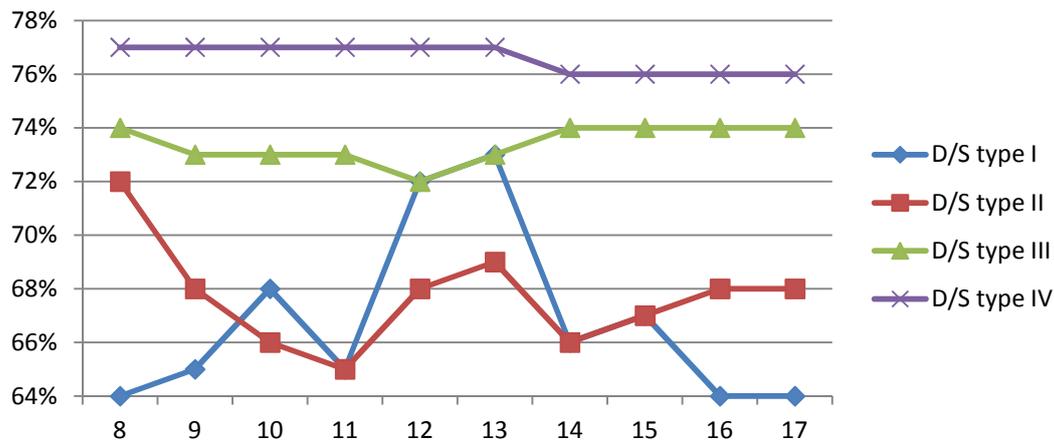


Figure VI.50. Coefficients d'ombrages des quatre types de CEM durant le mois de décembre selon l'orientation Sud.

- 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%).

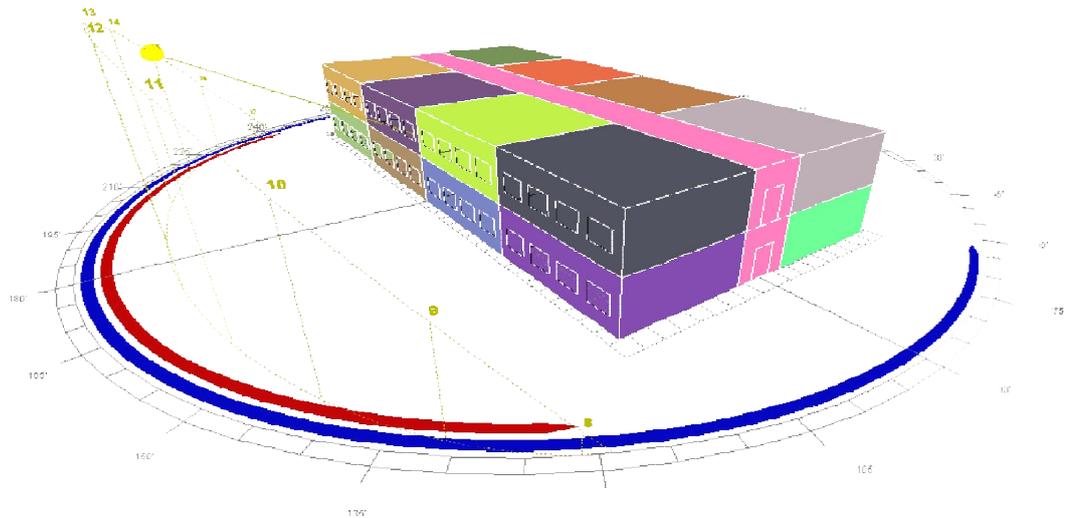


Figure.VI.51. Vue tridimensionnelle du type IV orienté vers le Sud ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Décembre.

- 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.

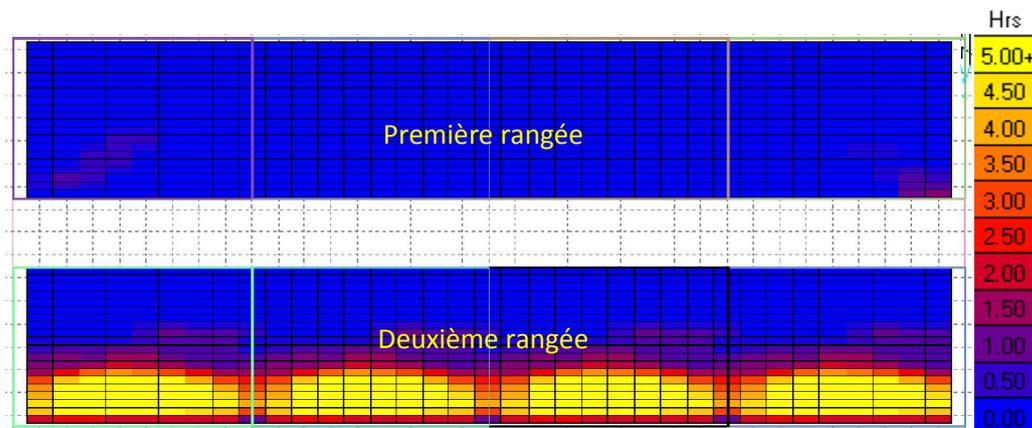


Figure VI.52. Le cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Décembre pour le type IV, avec une orientation SUD du corridor.

- 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.

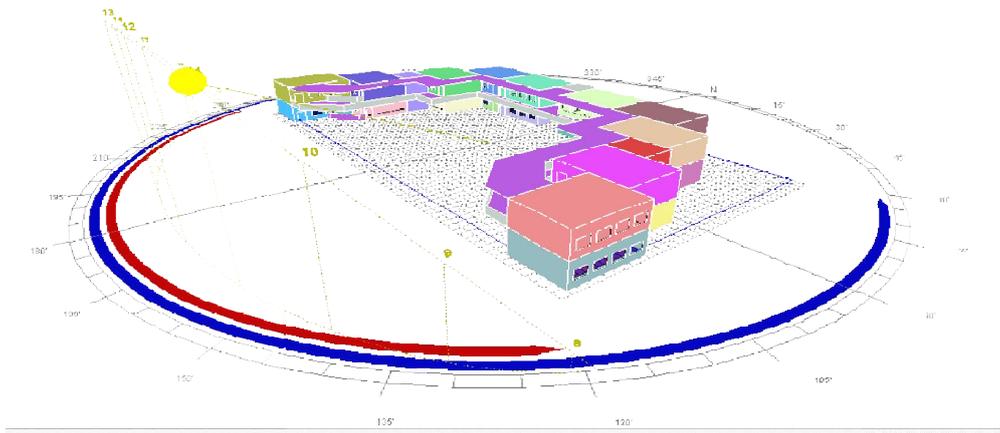


Figure.VI.53. Vue tridimensionnelle du type III orienté vers le Sud ainsi que la trajectoire du soleil pour le 21 Décembre.

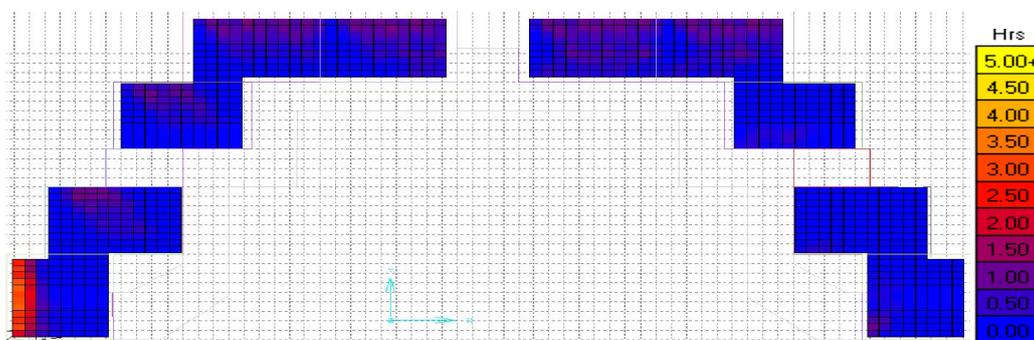


Figure.VI.54. Cumul d'ensoleillement (8h :00 à 17h :00) du 21 Décembre avec une orientation SUD du corridor.

- 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'ensoleillement 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'ensoleillement 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'ensoleillement ne peut pas atteindre les façades en orientation Nord.

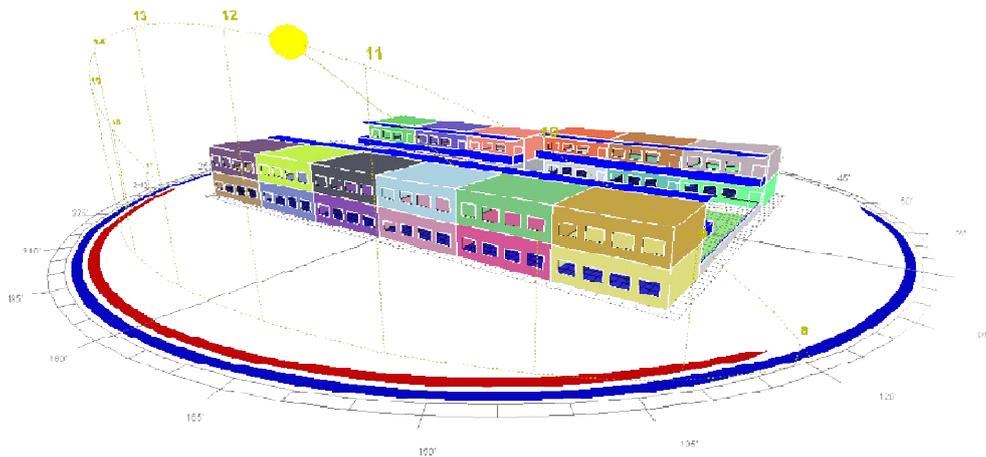


Figure.VI.55. Vue tridimensionnelle du type III orienté vers le Sud ainsi que la trajectoire du soleil pour le 21 Décembre.

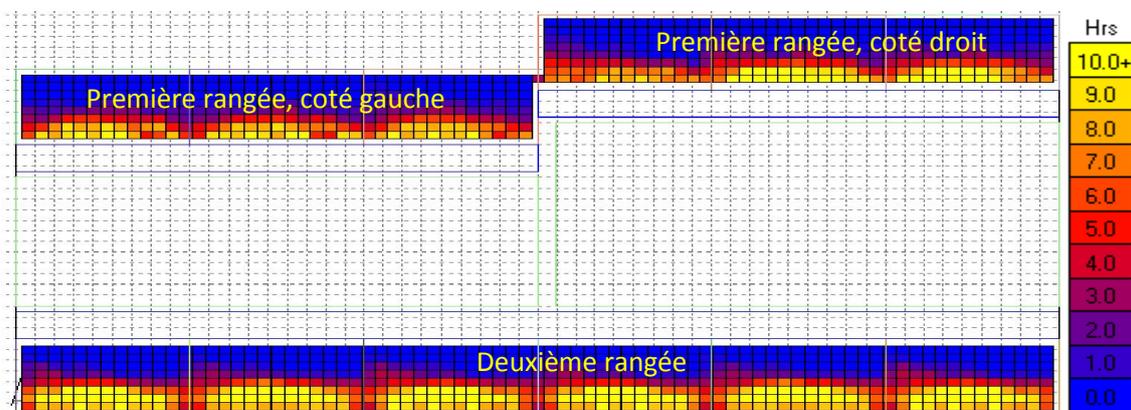


Figure.VI.56. Cumul d'ensoleillement (8h :00 à 17h :00) du 21 Décembre avec une orientation SUD du corridor.

- 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.

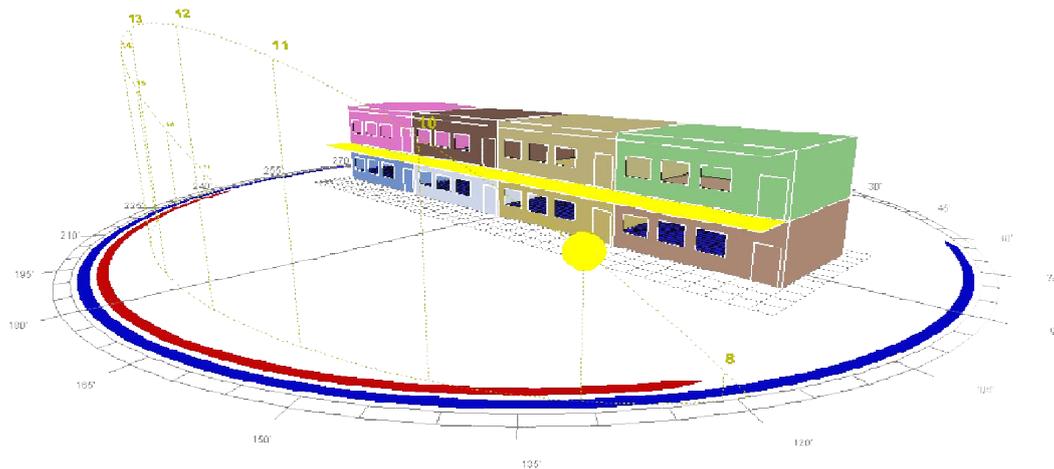


Figure.VI.57. Vue tridimensionnelle du type I orienté vers le Sud ainsi que la trajectoire du soleil pour le 21 Décembre.

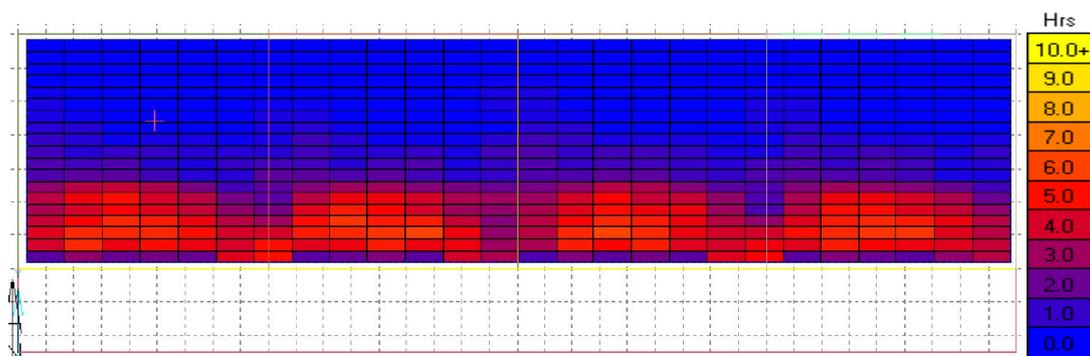


Figure.VI.58. Cumul d'enseillement (8h :00 à 17h :00) du 21 Décembre avec une orientation SUD du corridor.

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 :

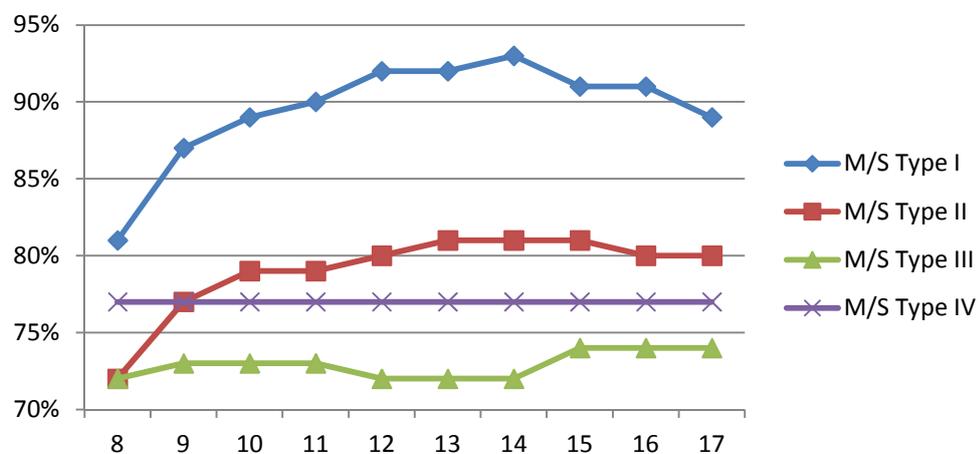


Figure VI.59. Coefficients d'ombrages des quatre types de CEM durant le mois de Mars selon l'orientation Sud

- 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).

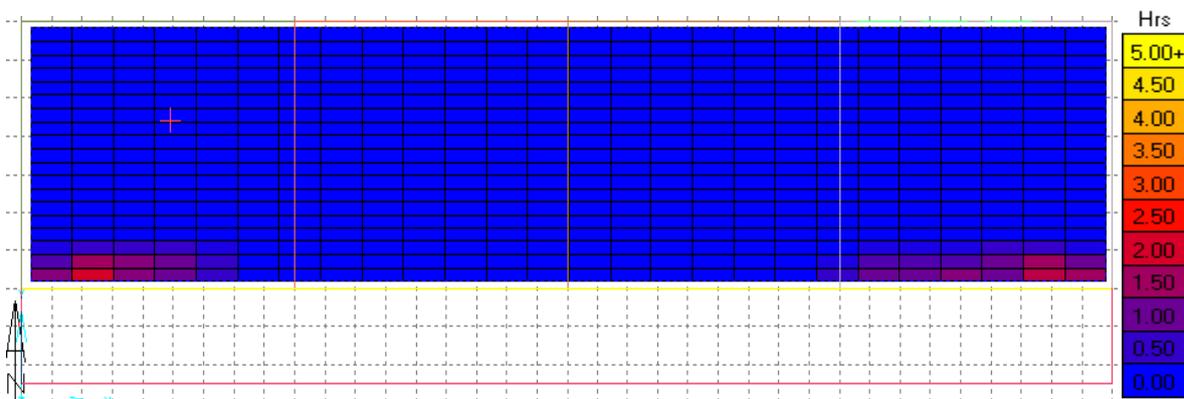


Figure.VI.60. Cumul d'enseillement (8h :00 à 17h :00) du 21 Mars avec une orientation SUD du corridor.

- 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.

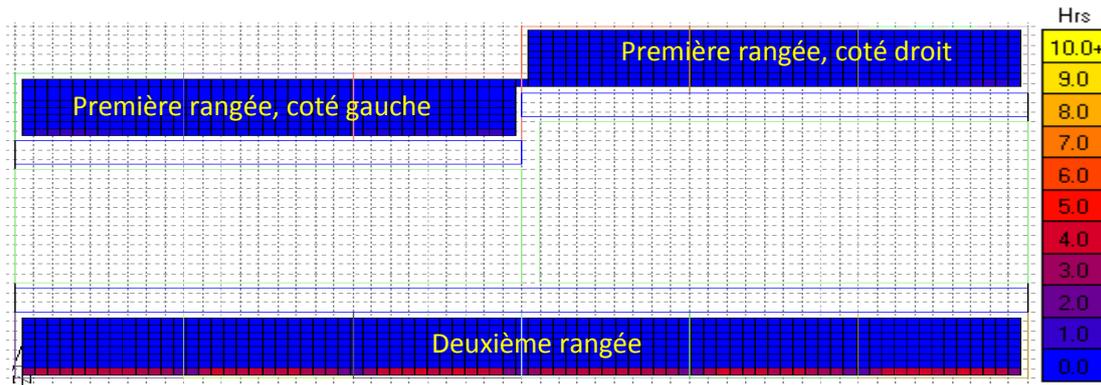


Figure.VI.61. Cumul d'enseillement (8h :00 à 17h :00) du 21 Mars avec une orientation SUD du corridor.

- 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.

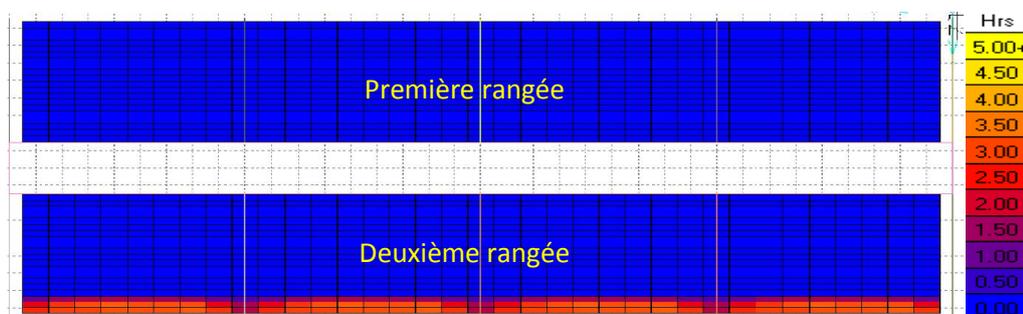


Figure VI.62. Cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Mars pour le type IV, avec une orientation Sud du corridor.

- 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).

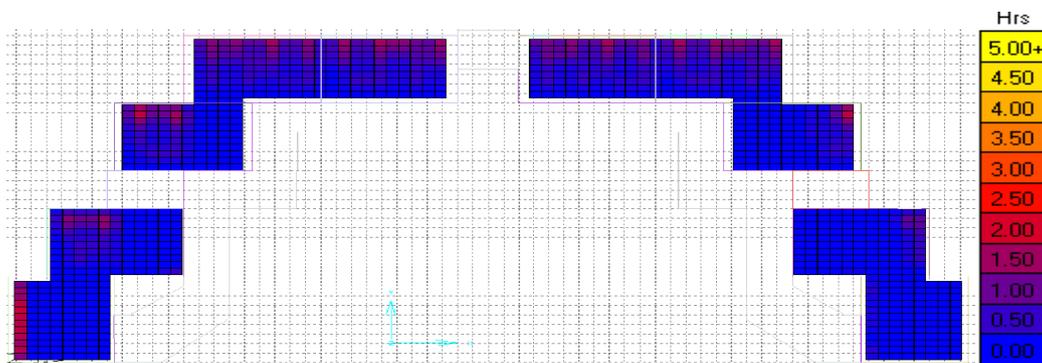


Figure VI.63. Cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Mars pour le type IV avec une orientation SUD du corridor.

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.

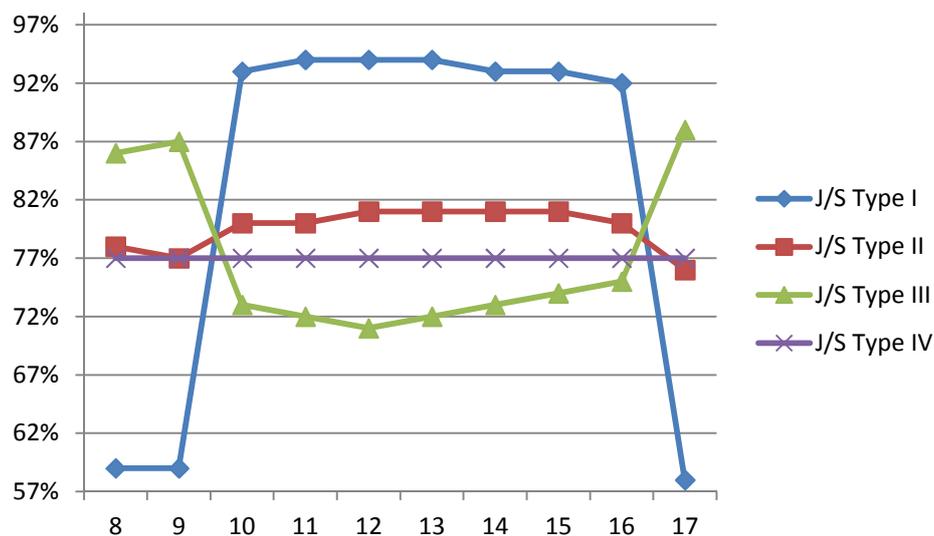


Figure VI.64. Coefficients d'ombrages des quatre types de CEM durant le mois de Juin selon l'orientation Sud

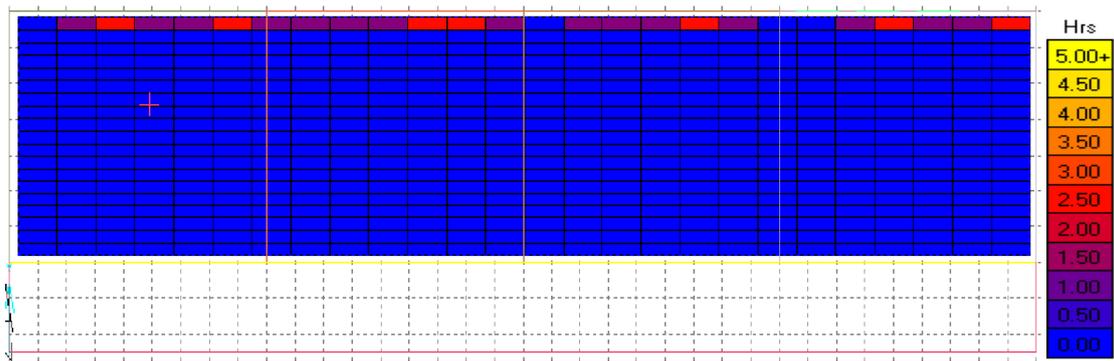


Figure VI.65. Cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Juin pour le type I, avec une orientation SUD du corridor.

- 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).

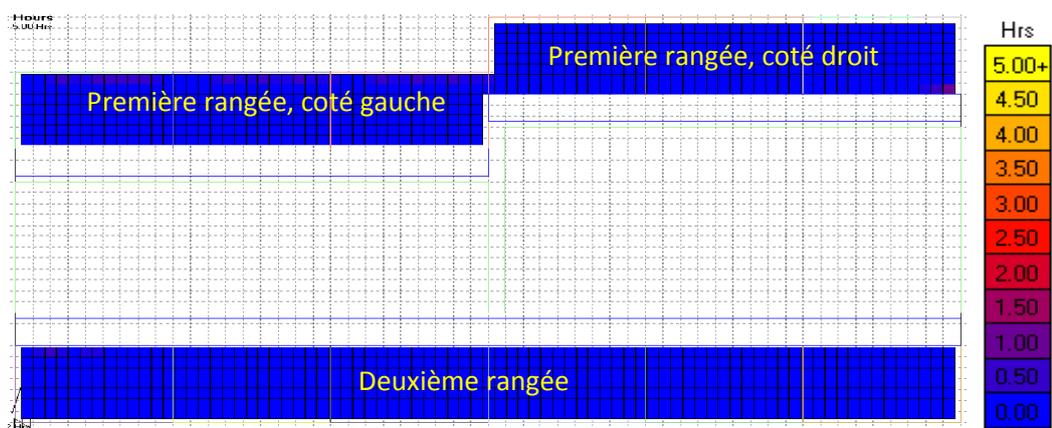


Figure VI.66. Cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Juin pour le type II, avec une orientation SUD du corridor.

- 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.

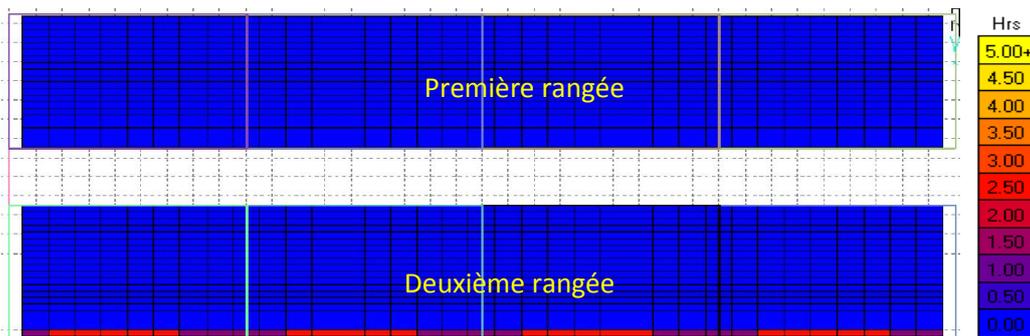


Figure VI.67. Cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Juin pour le type II, avec une orientation SUD du corridor.

- 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.

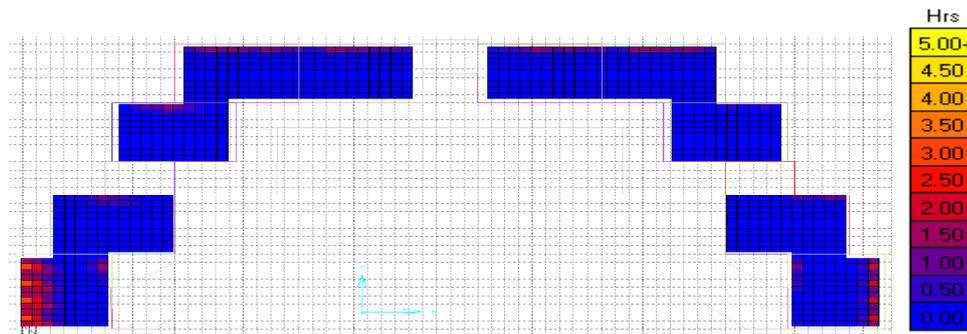


Figure VI.68. Cumul d'insolation entre 8h et 17h du 21 Juin pour le type II, avec une orientation SUD du corridor.

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.

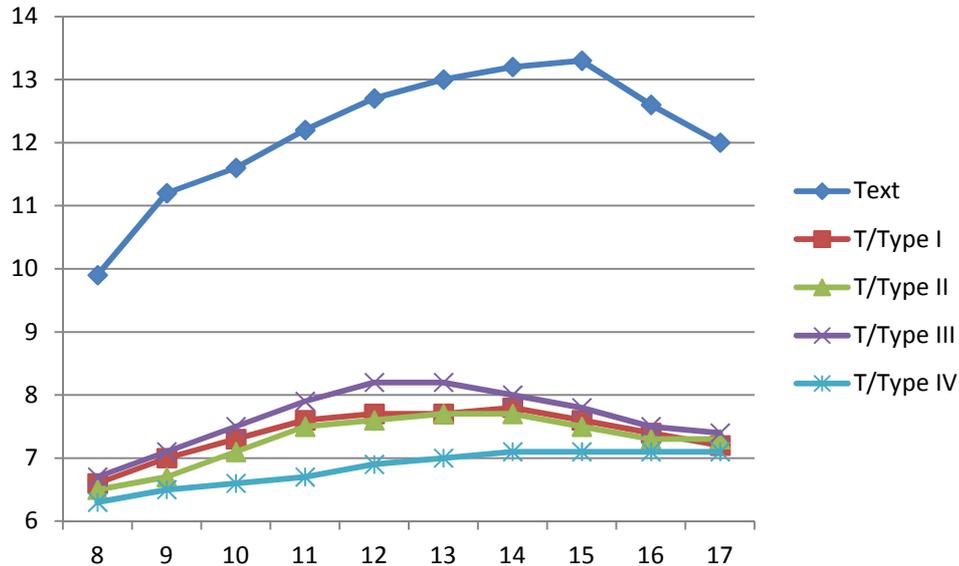


Figure VI.69. Température extérieure et les températures à l'intérieures des salles des quatre types de CEM pour la journée du 21 Décembre.

- 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).

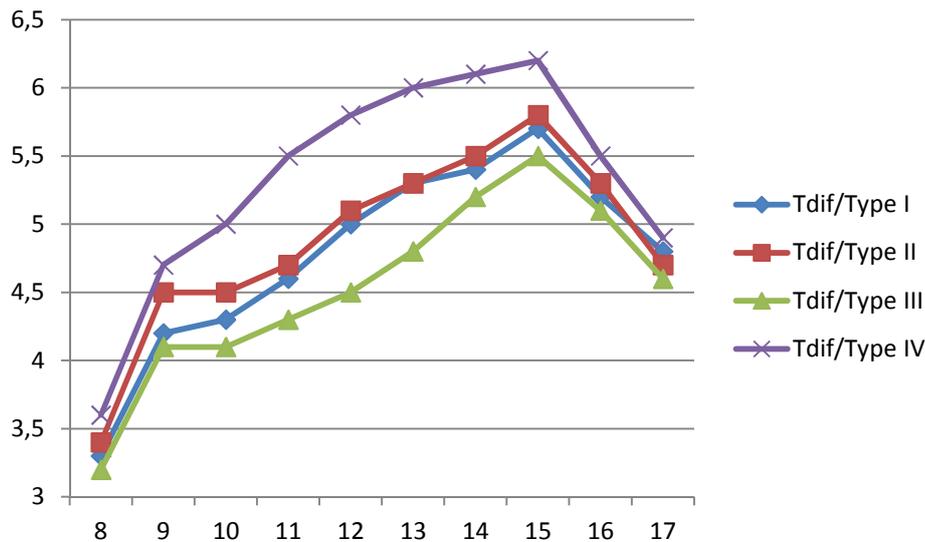


Figure 70. Gradients de températures des quatre types de CEM pour la journée du 21 Décembre.

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.

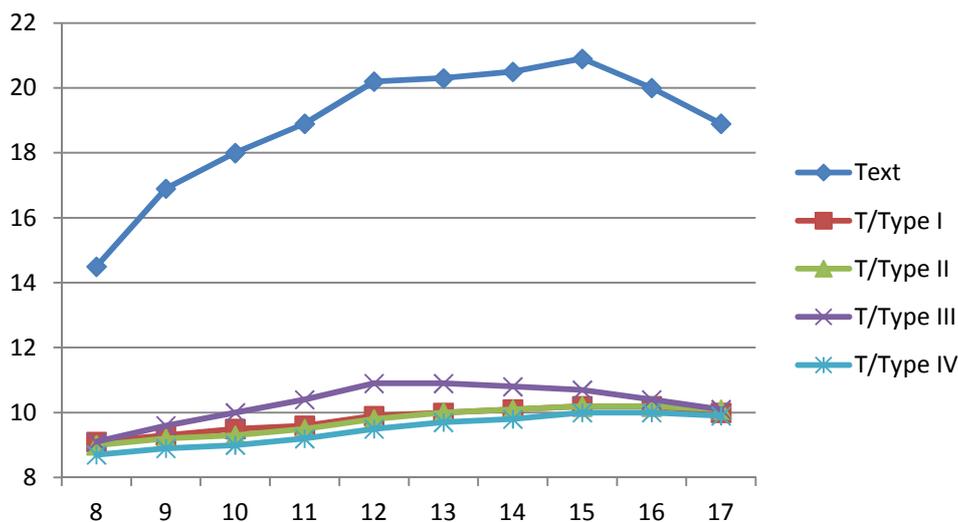


Figure VI.71. Température extérieure et les températures à l'intérieures des salles des quatre types de CEM pour la journée du 21 Décembre.

- 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).*

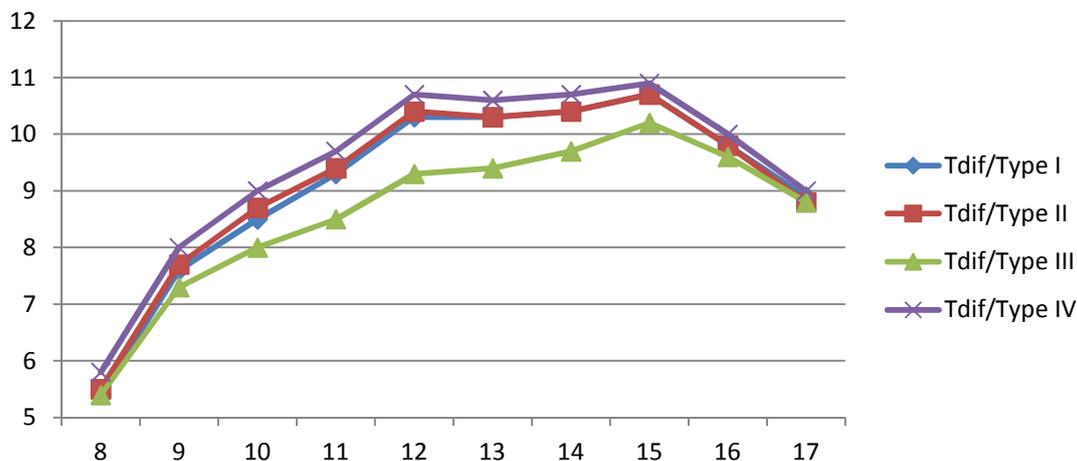
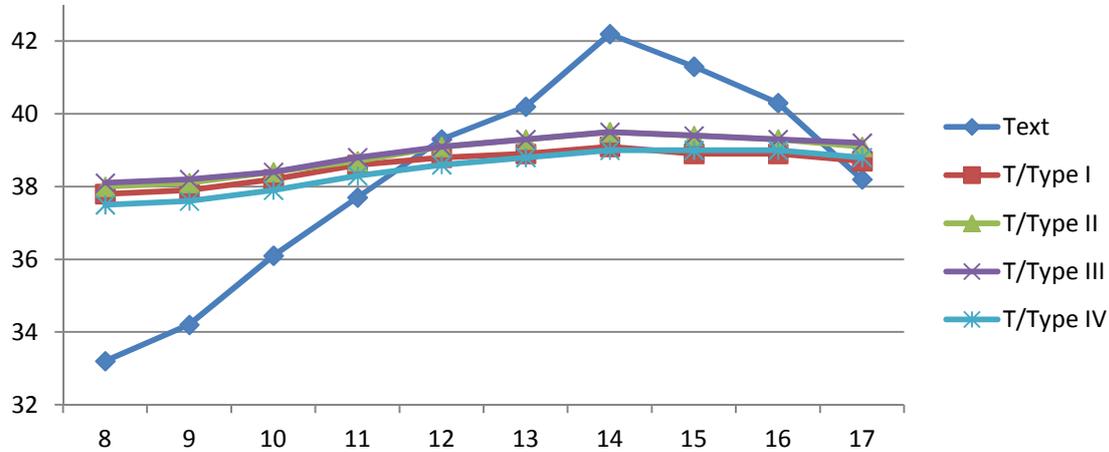


Figure VI.72. Gradients des températures des quatre types de CEM pour la journée du 21 Mars.

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.

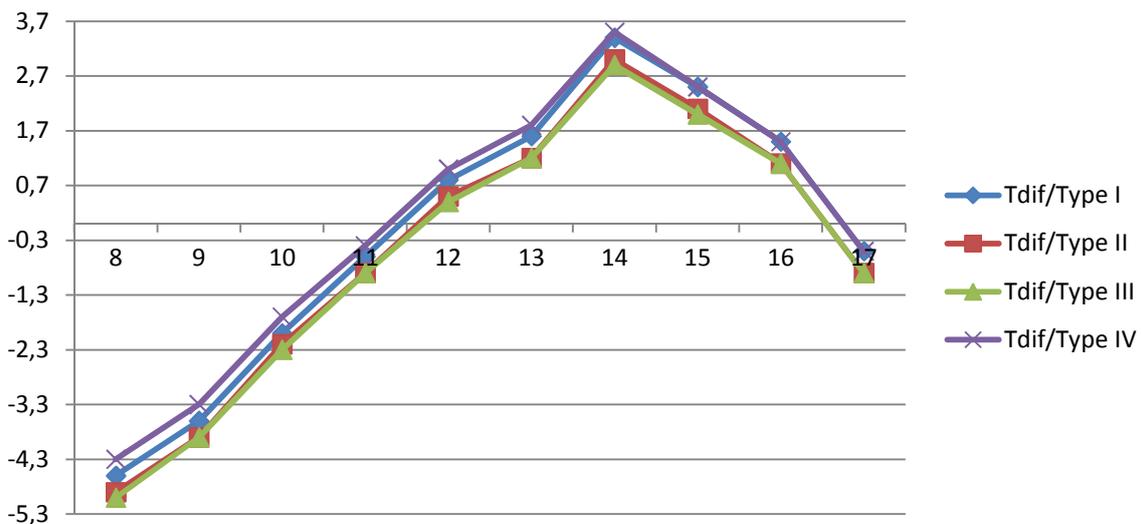


Figure VI.74. Gradients de températures des quatre types de CEM pour la journée du 21 Juin.

- 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.

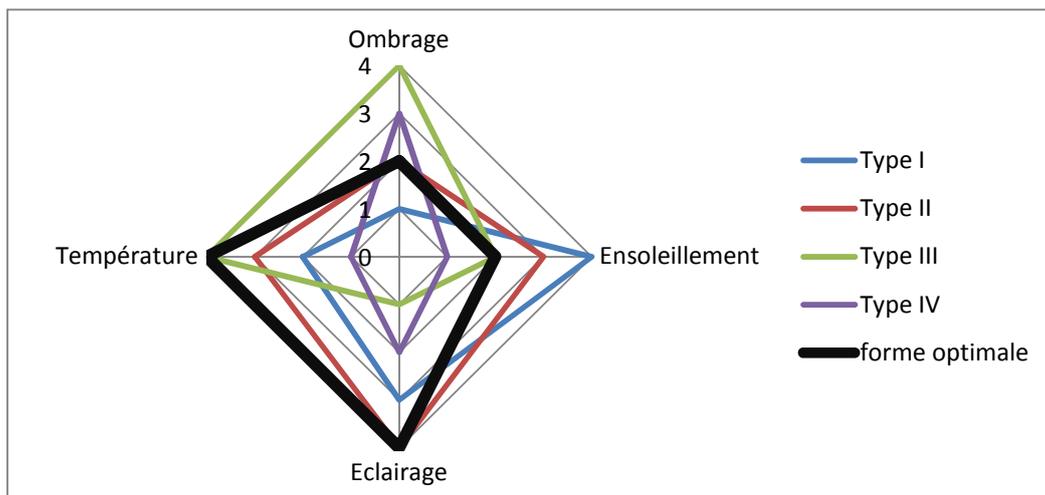


Figure. VI.75. Diagrammes radar des paramètres des quatre types de CEM, ainsi que le diagramme optimal, pour le mois de Décembre.

VI.3.2.3.2. Pour le mois de Mars

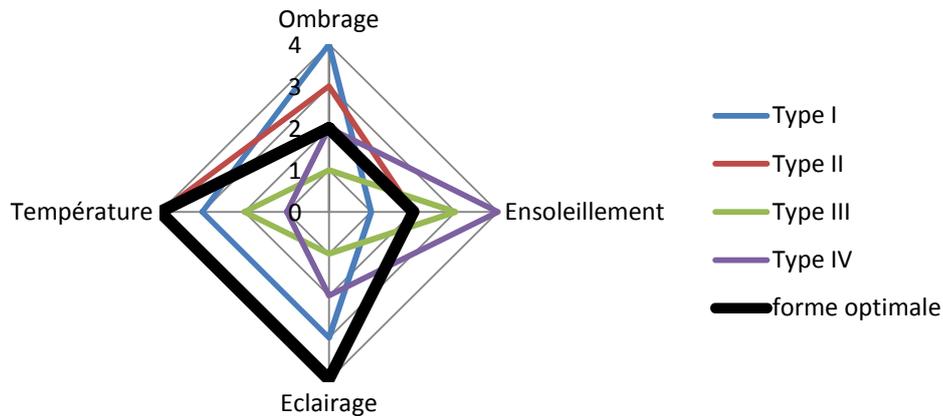


Figure. VI.76. Diagrammes radar des paramètres des quatre types de CEM, ainsi que le diagramme optimal, pour le mois de Mars, Nord.

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

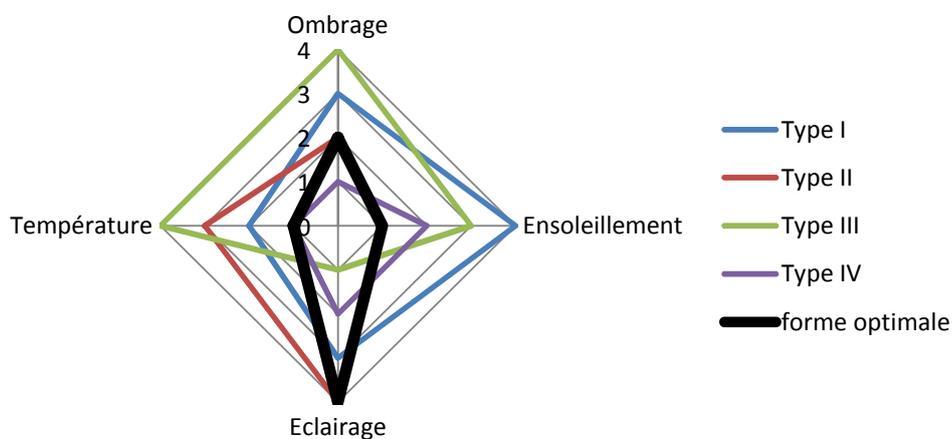


Figure. VI.77. Diagrammes radar des paramètres des quatre types de CEM, ainsi que le diagramme optimal, pour le mois de Juin.

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 :

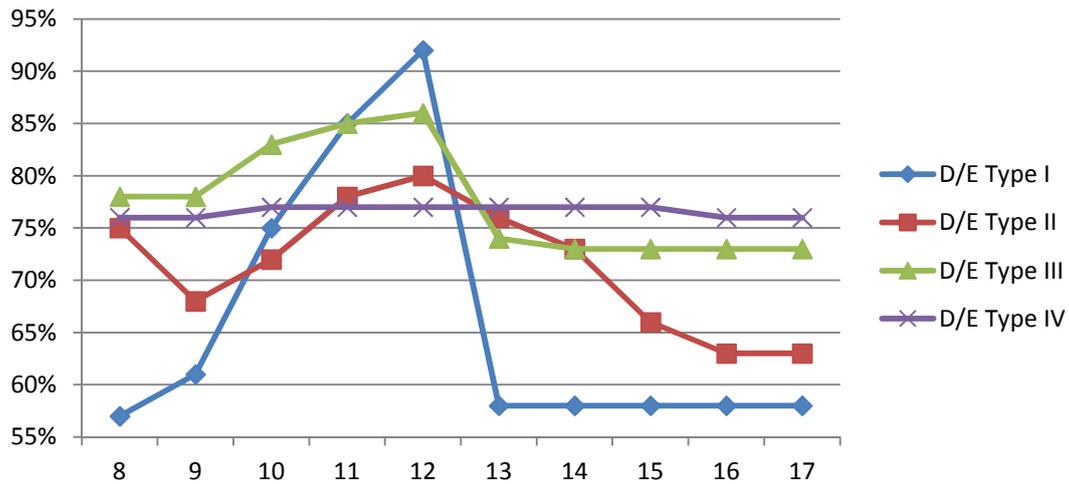


Figure VI.78. Coefficients d'ombrage des quatre types de CEM durant le mois de décembre selon l'orientation Est.

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%.

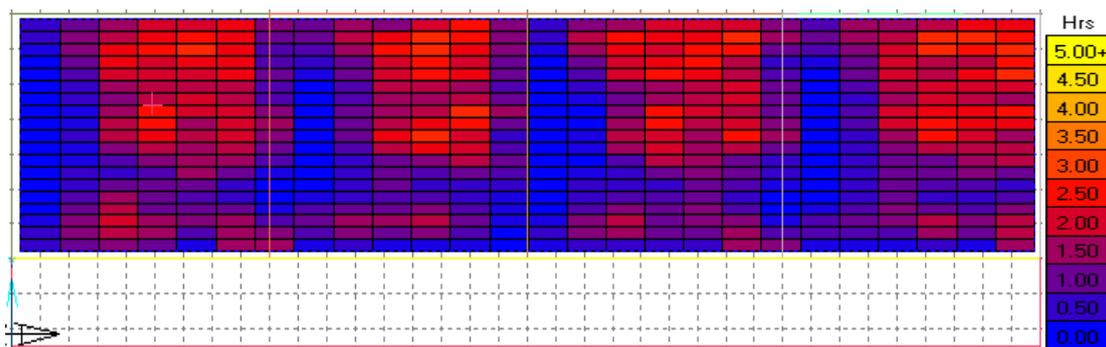


Figure VI.80. Cumul d'ensoleillement entre 8h et 17h du 21 Décembre pour le type I, avec une orientation Est du corridor.

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.

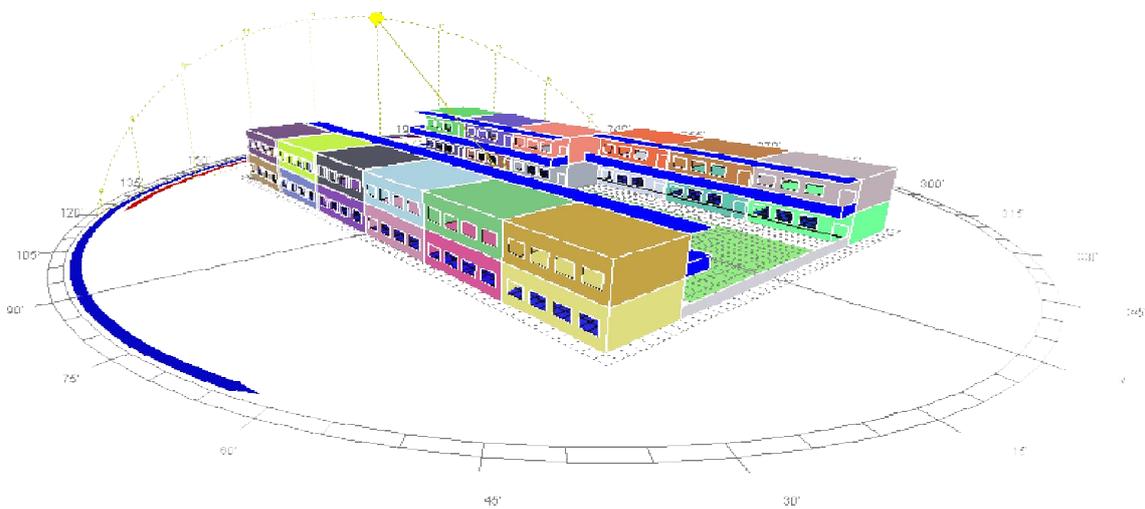


Figure.VI.81. Vue tridimensionnelle du type II orienté vers l’Est ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Décembre.

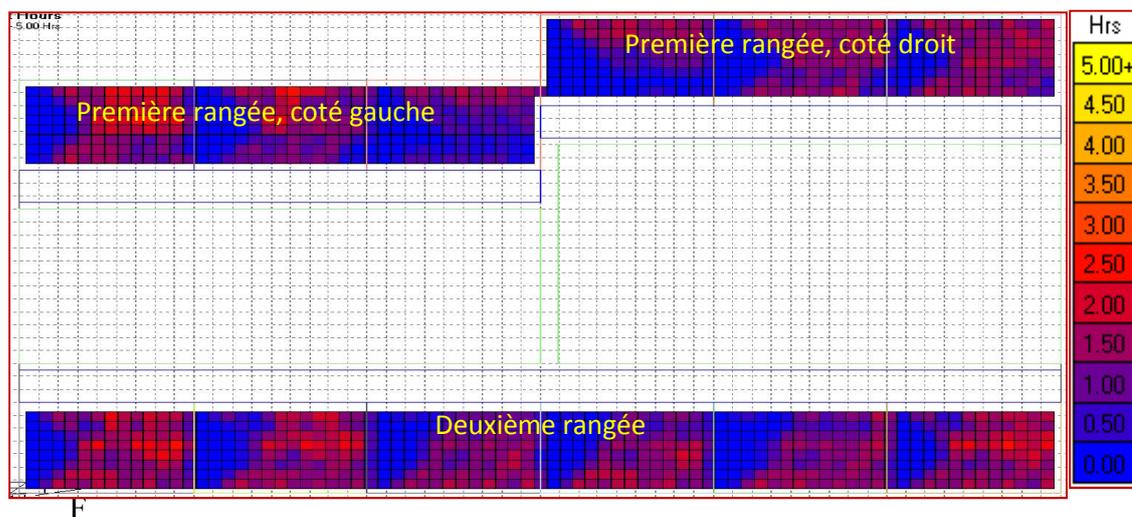


Figure VI.82. Cumul d’enseillement entre 8h et 17h du 21 Décembre pour le type II, avec une orientation Est du corridor.

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.

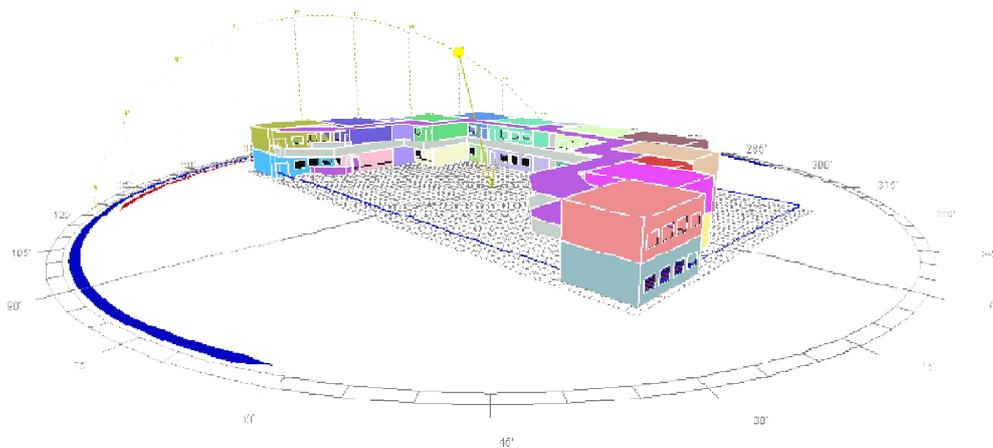


Figure.VI.83. Vue tridimensionnelle du type III orienté vers l'Est ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Décembre.

- 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.

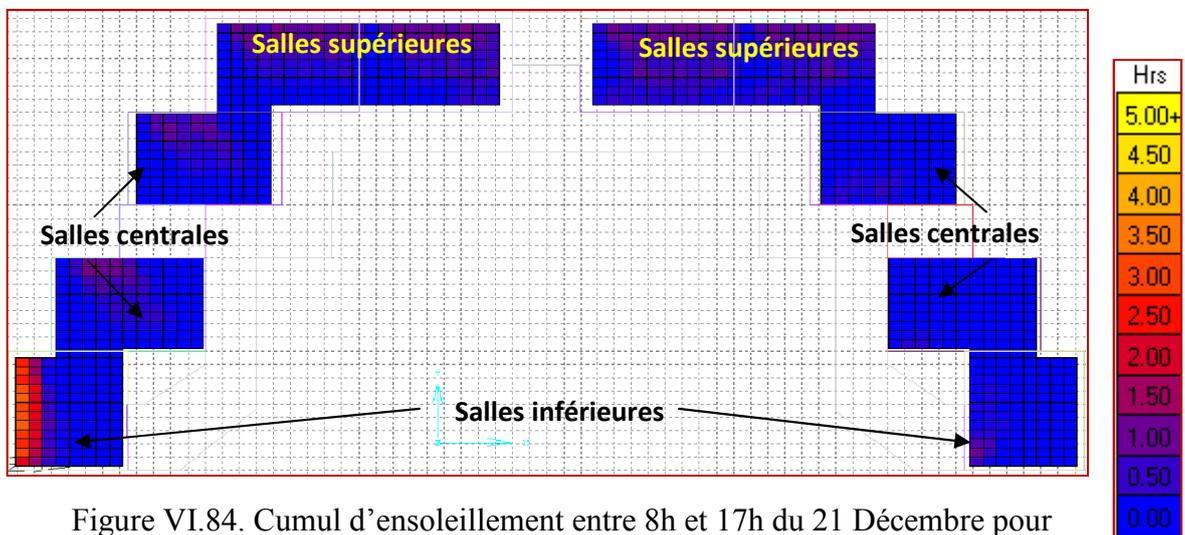


Figure VI.84. Cumul d'ensoleillement entre 8h et 17h du 21 Décembre pour le type III, avec une orientation Est du corridor.

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.

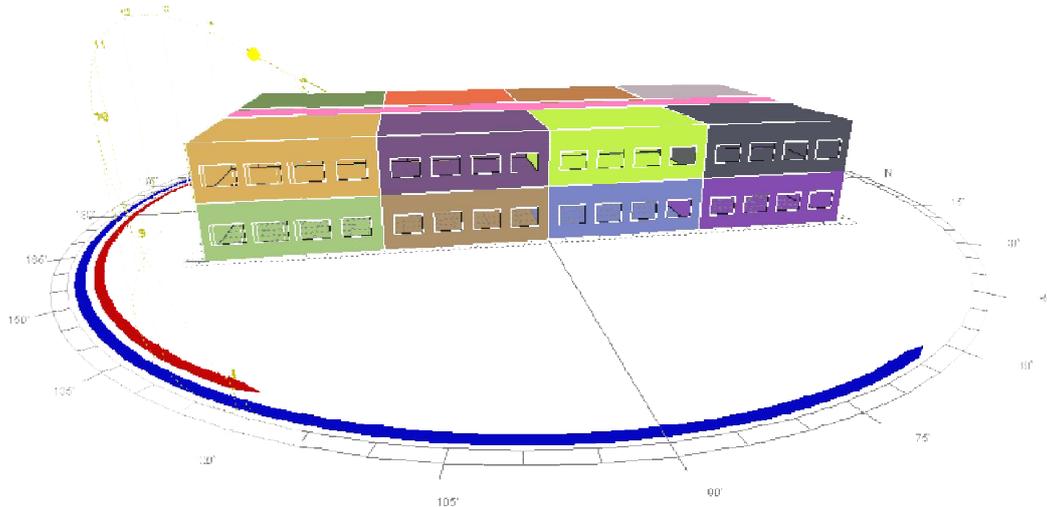


Figure.VI.85. Vue tridimensionnelle du type IV en orientation Est ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Décembre.

- 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.

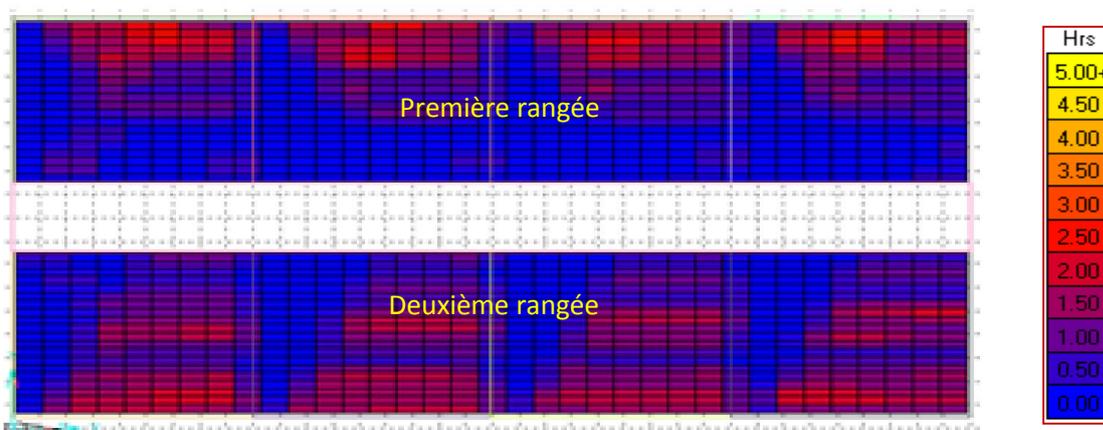


Figure VI.86. Cumul d'ensoleillement entre 8h et 17h du 21 Décembre pour le type IV, avec une orientation Est du corridor.

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 azimut 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 :

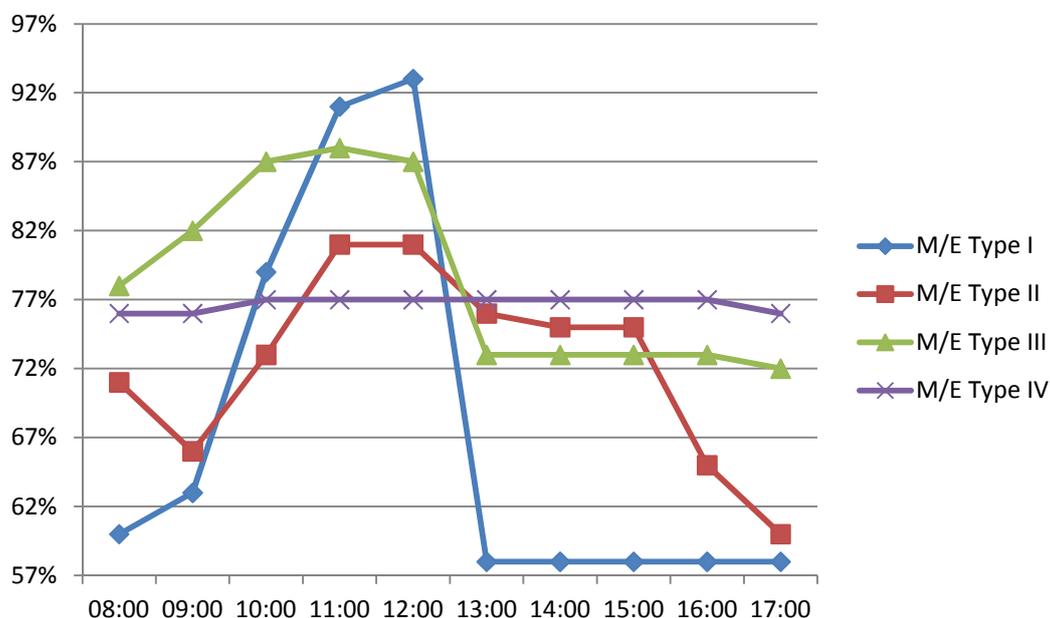


Figure VI.87. Coefficients d'ombrages des quatre types de CEM durant le mois de Mars selon l'orientation Est.

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%.

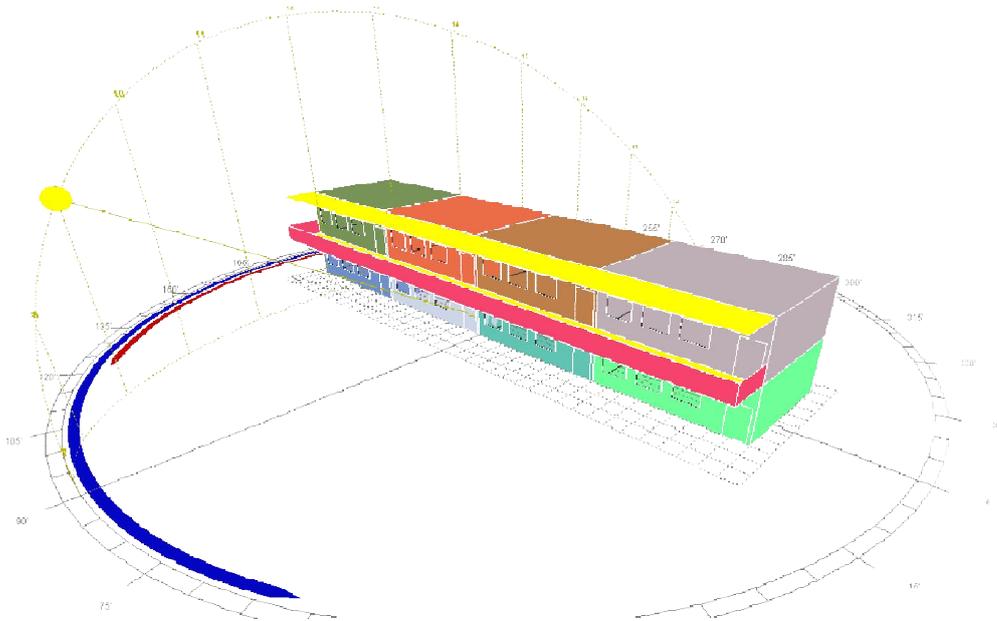


Figure.VI.88. Vue tridimensionnelle du type I, orienté vers l'Est ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Mars.

- 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.

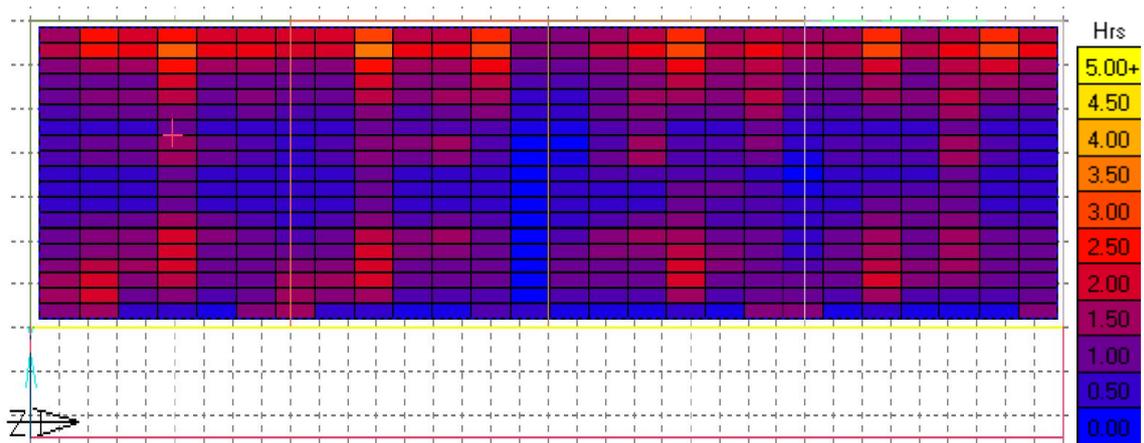


Figure VI.89. Cumul d'insolation entre 8h et 17h du 21 Mars pour le type I, avec une orientation Est du corridor.

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 ce type, permet d'atteindre les profondeurs des salles de classe,

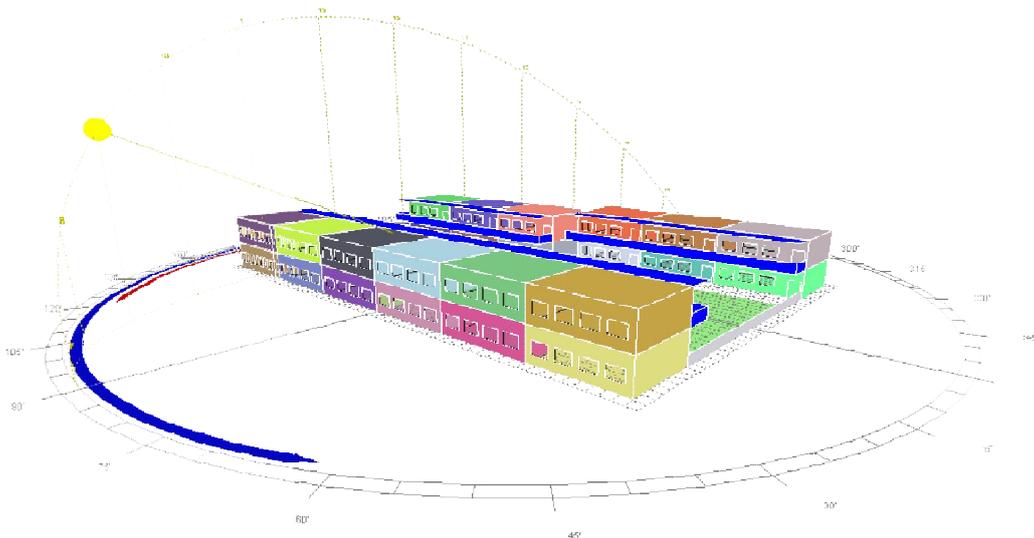


Figure.VI.90. Vue tridimensionnelle du type II orienté vers l'Ouest ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Mars.

- 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 orientées 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 dotée de corridor orienté vers l'Est.

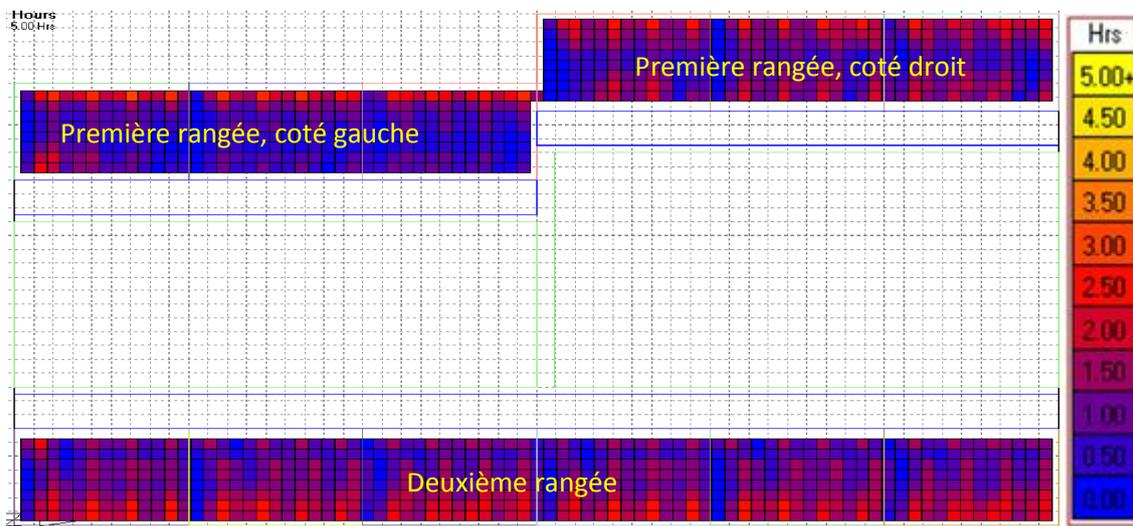


Figure VI.91. Cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Mars pour le type II, avec une orientation Est du corridor.

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 %.

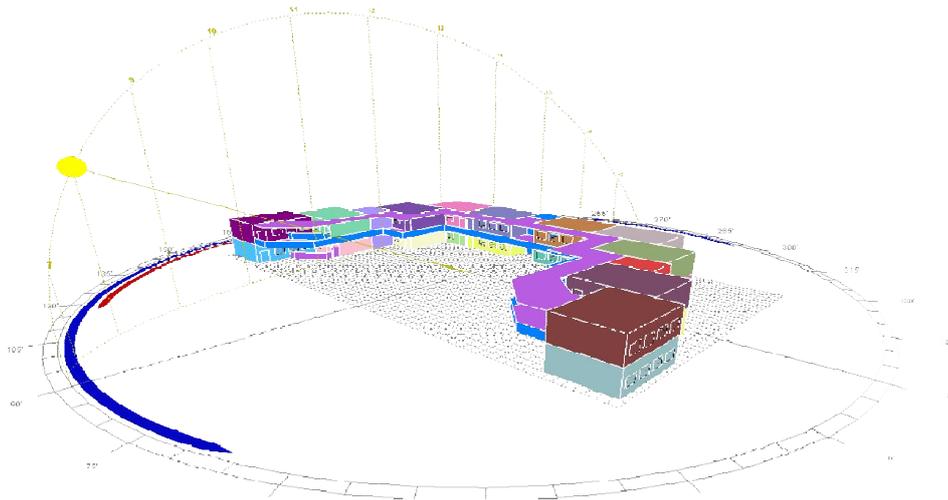


Figure.VI.92. Vue tridimensionnelle du type III orienté vers l'Est ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Mars.

- 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.

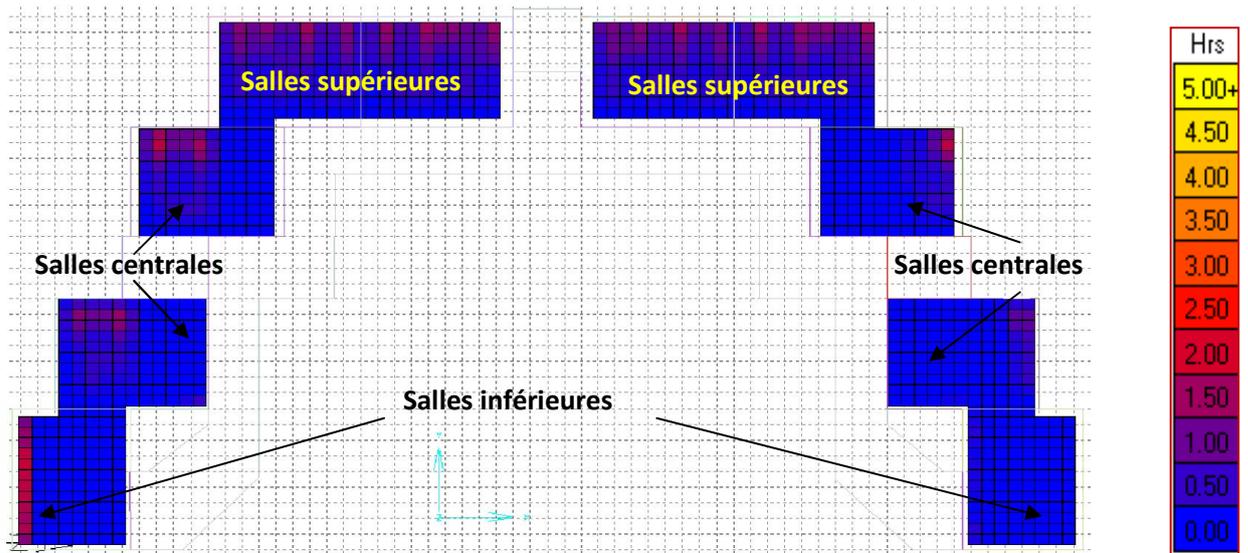


Figure VI.93. Cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Mars pour le type III, avec une orientation Est du corridor.

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.

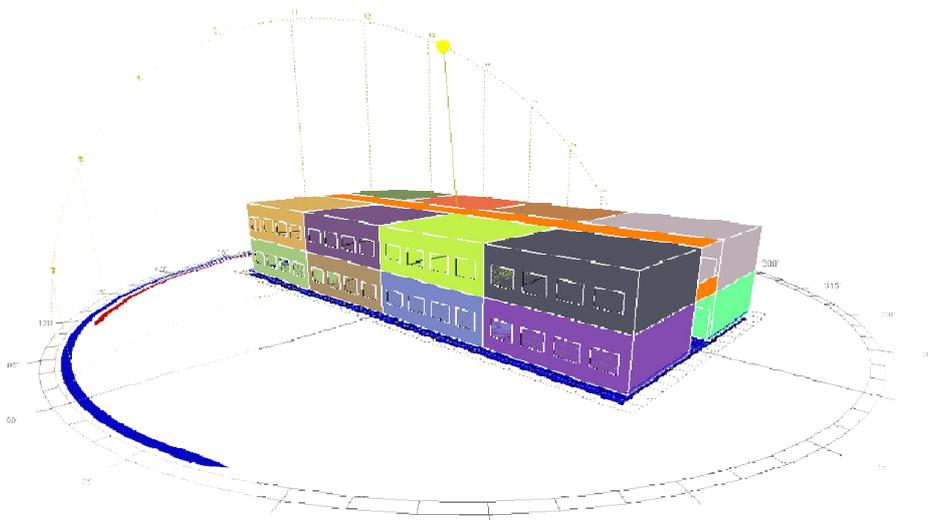


Figure.VI.94. Vue tridimensionnelle du type IV en orientation Est ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Décembre.

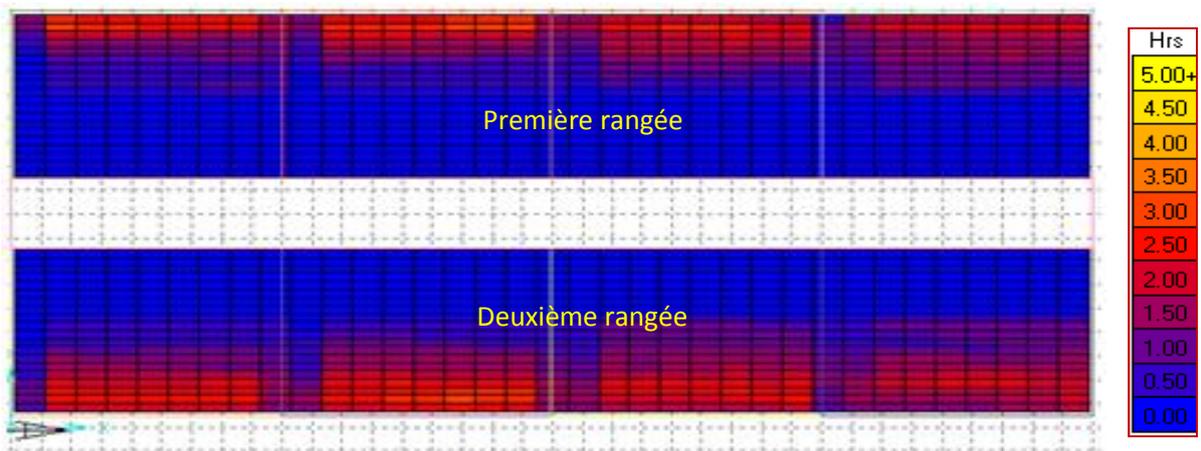


Figure VI.95. Cumul d'insolation entre 8h et 17h du 21 Mars pour le type III, avec une orientation Est du corridor.

- 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 :

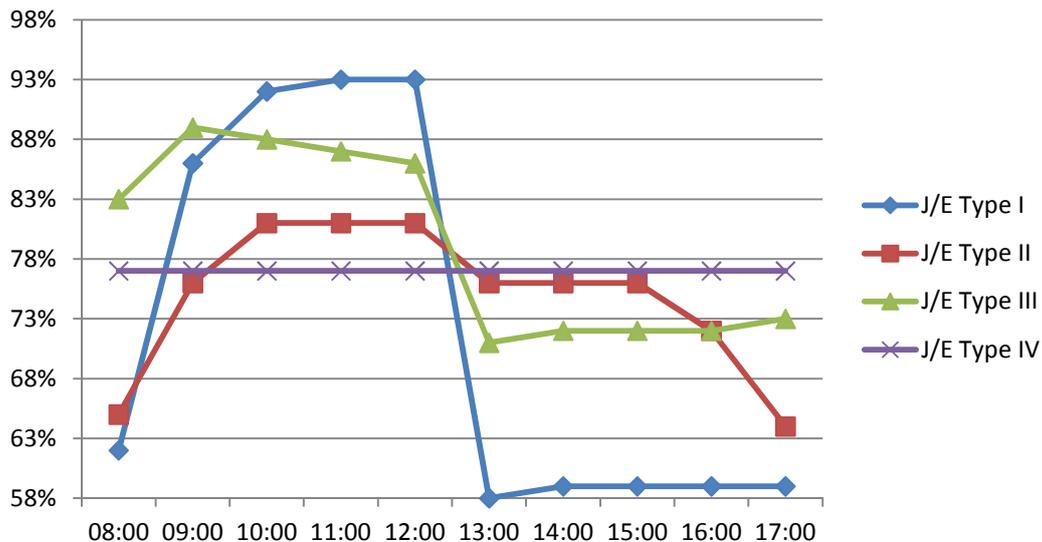


Figure VI.96. Coefficients d'ombrage des quatre types de CEM durant le mois de Juin selon l'orientation Est

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'ensevelissement 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.

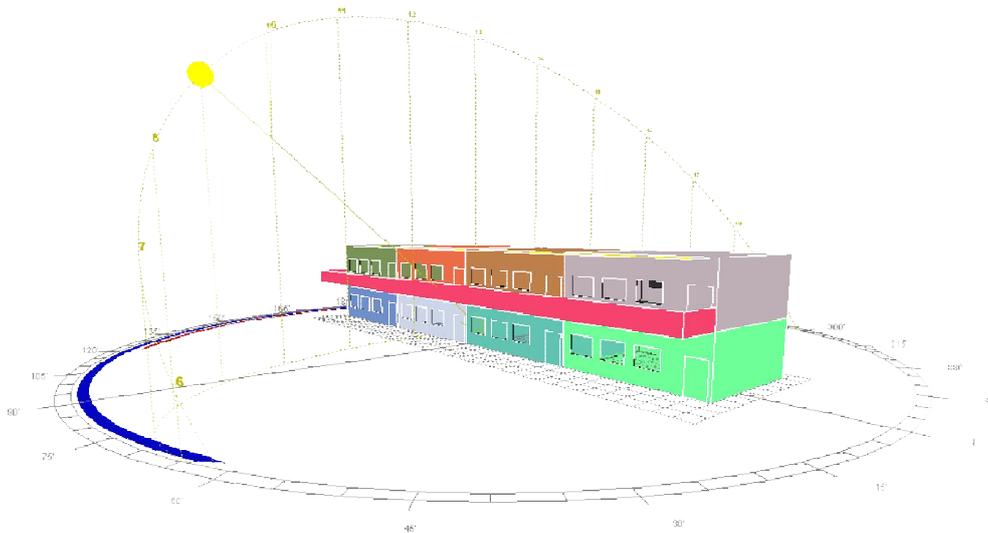


Figure.VI.97. Vue tridimensionnelle des CEM de type I en orientation Est ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Juin.

- 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.

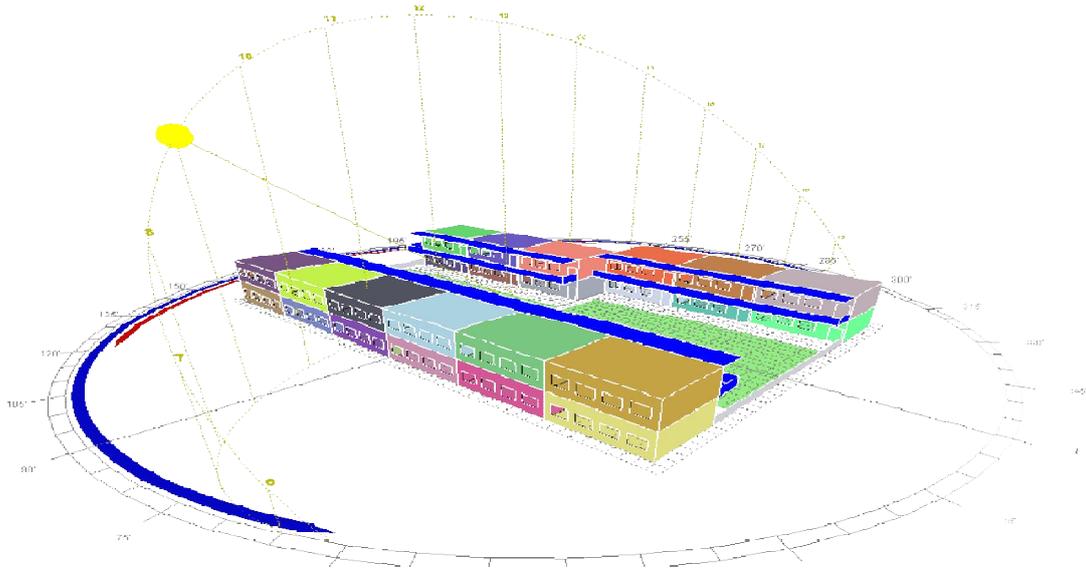


Figure.VI.99. Vue tridimensionnelle du type II en orientation Est ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Juin.

- 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 prêt des façades en exposition, elle est totalement nulle dans les surfaces situées aux centres des salles

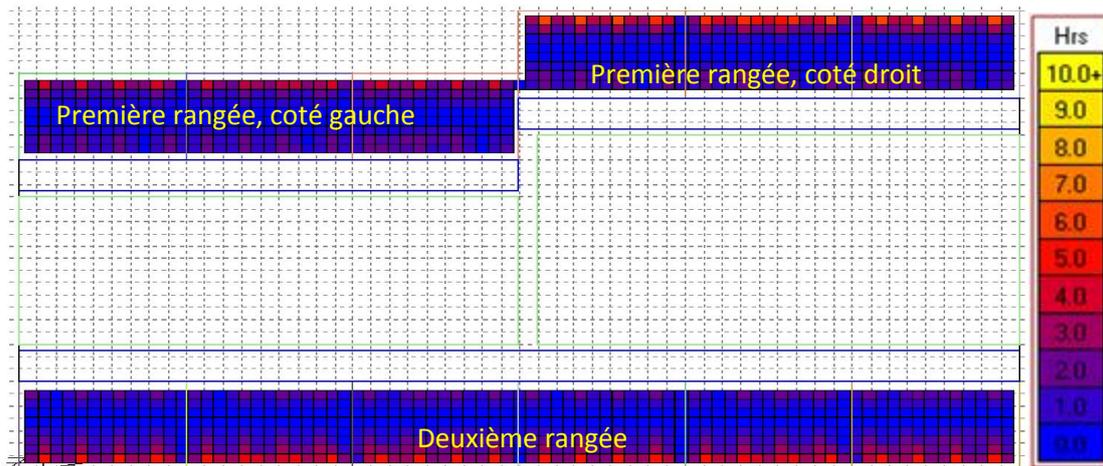


Figure VI.100. Cumul d'insolation entre 8h et 17h du 21 Juin pour le type II, avec une orientation Est du corridor.

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.

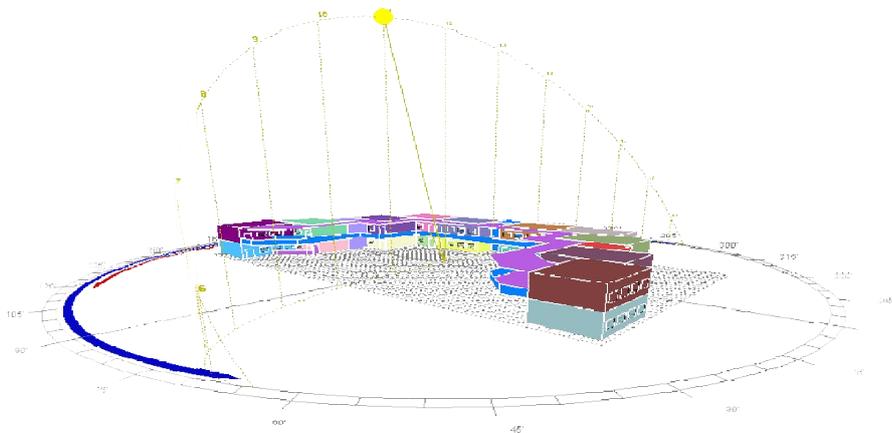


Figure.VI.101. Vue tridimensionnelle du type III en orientation Est ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Juin.

- 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 %.

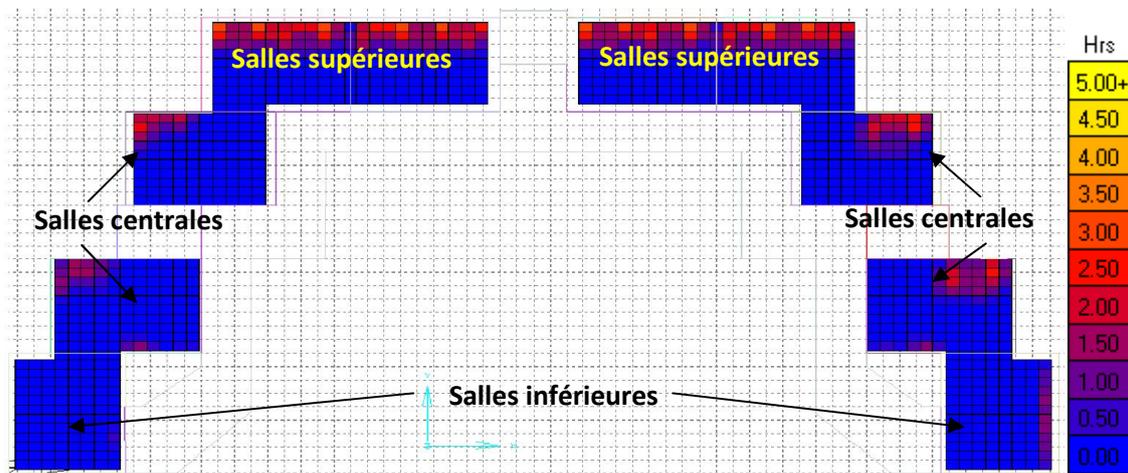


Figure VI.102. Cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Juin pour le type III, avec une orientation Est du corridor.

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.

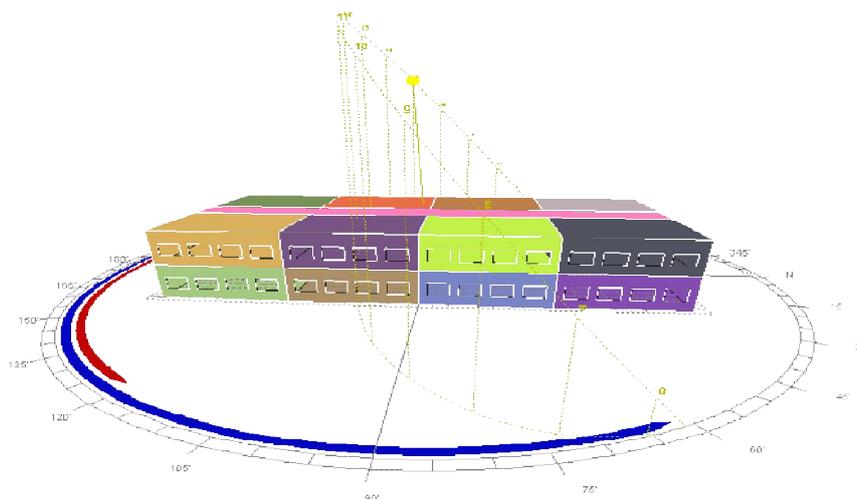


Figure. VI.103. Vue tridimensionnelle du type III en orientation Est ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Juin.

- 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).

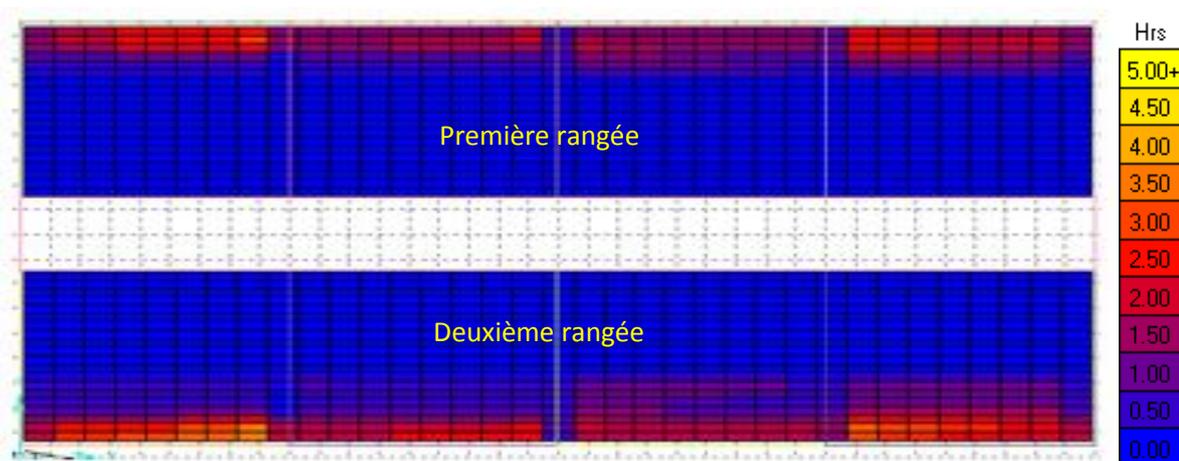


Figure VI.104. Cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Juin pour le type IV, avec une orientation Est du corridor.

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.

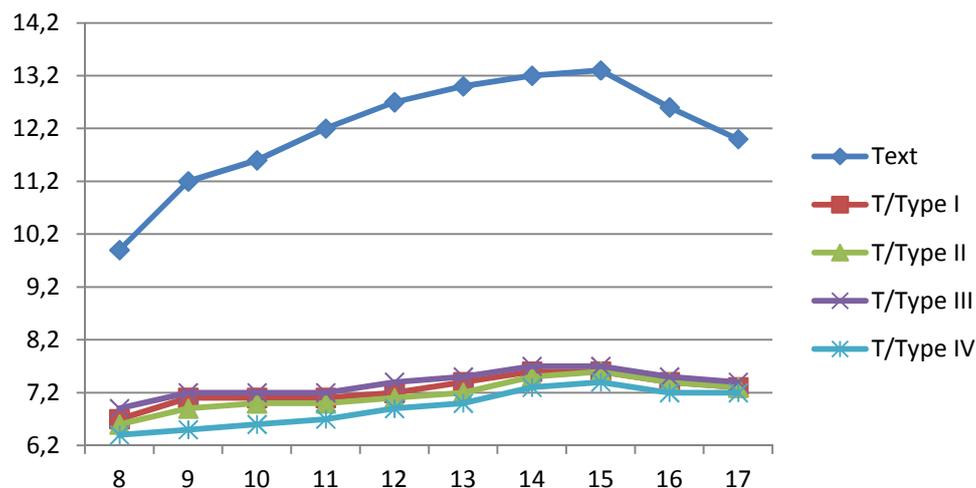


Figure VI.105. Température à l'extérieure et températures à l'intérieure des salles des quatre types de CEM pour la journée du 21 Décembre.

- A 8h : 00, la température extérieure est 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.
- 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.

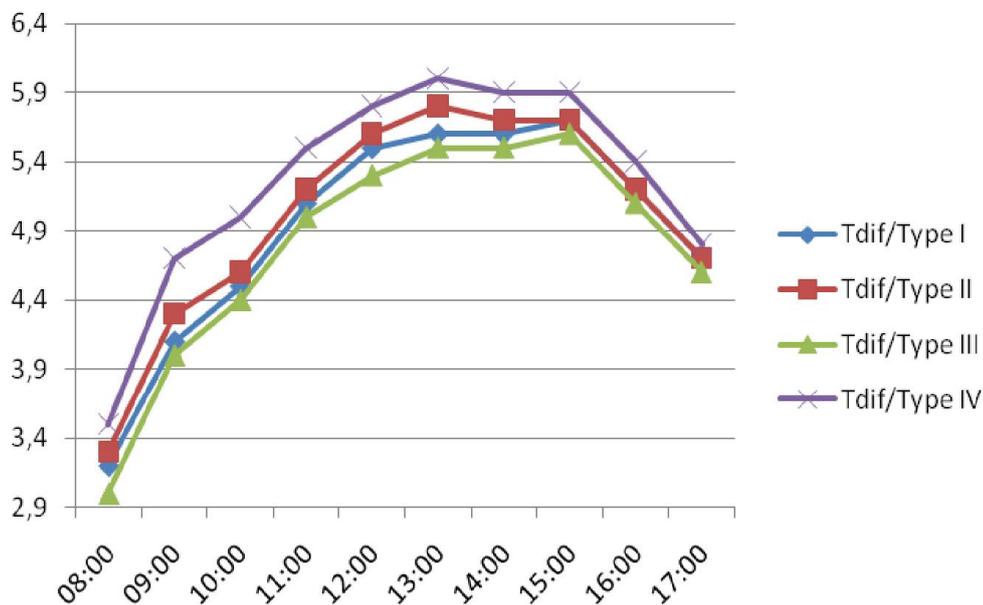


Figure VI.106. Gradients de températures des quatre types de CEM pour la journée du 21 Décembre.

- 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.

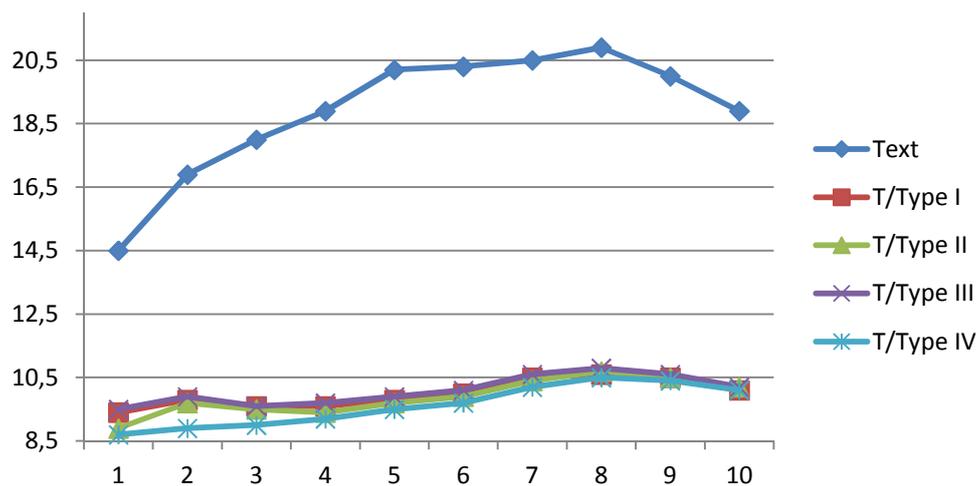


Figure VI.107. Température extérieure pour la journée du 21 Mars et les températures à l'intérieures des salles des quatre types de CEM.

- 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).

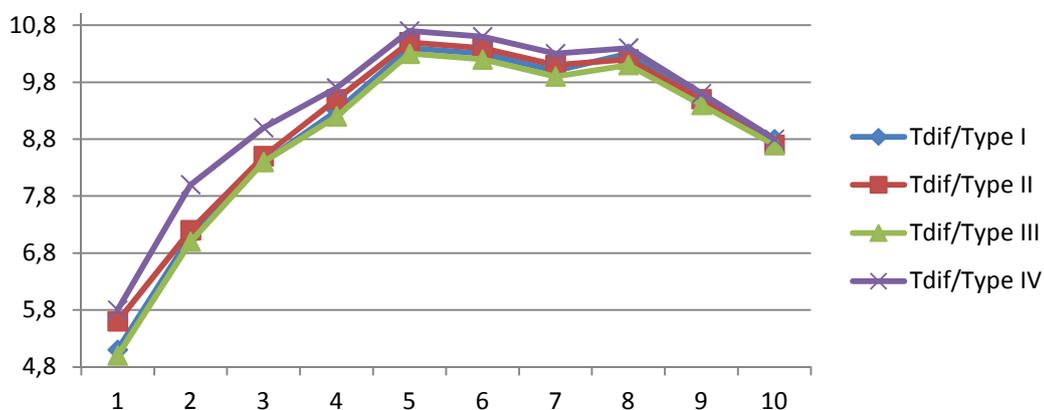


Figure VI.108. Gradients de températures des quatre types de CEM pour la journée du 21 Mars.

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.

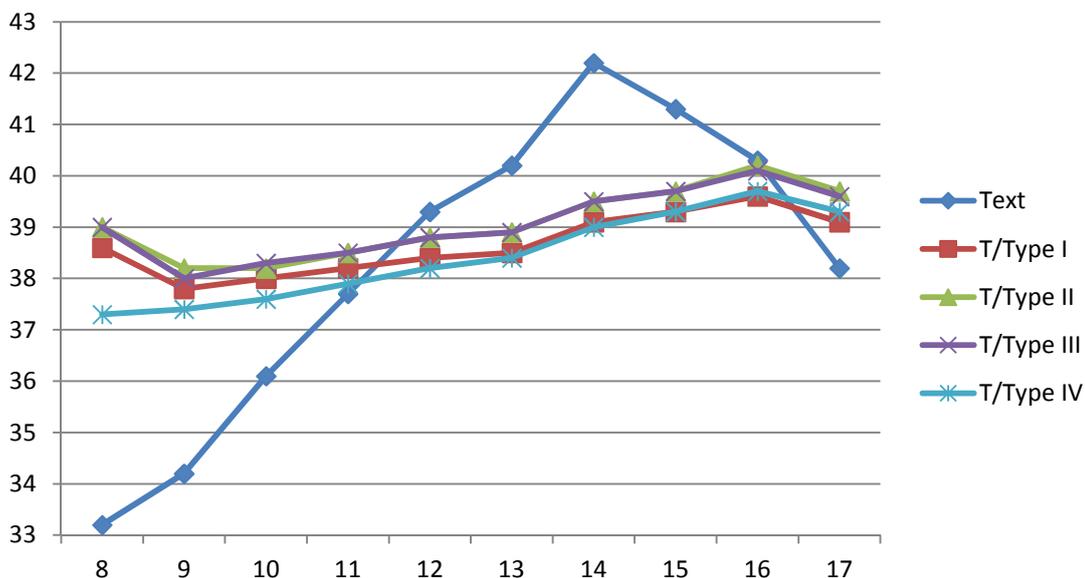


Figure VI.109. Température extérieure pour la journée du 21 Mars et les températures intérieures des salles des quatre types de CEM.

- 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 à 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.

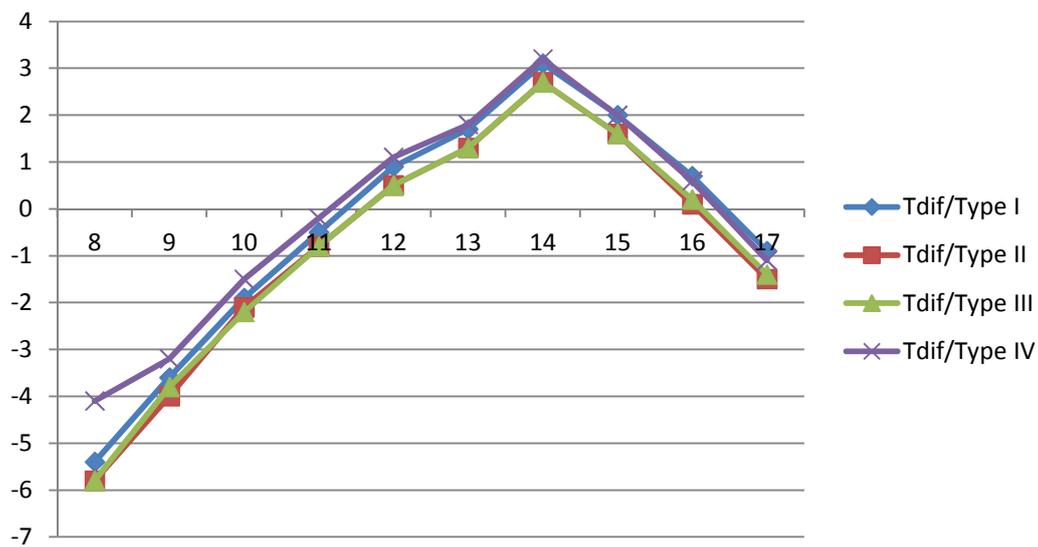


Figure VI.110. Gradients de températures des quatre types de CEM pour la journée du 21 Juin.

- 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 :
 - o 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.

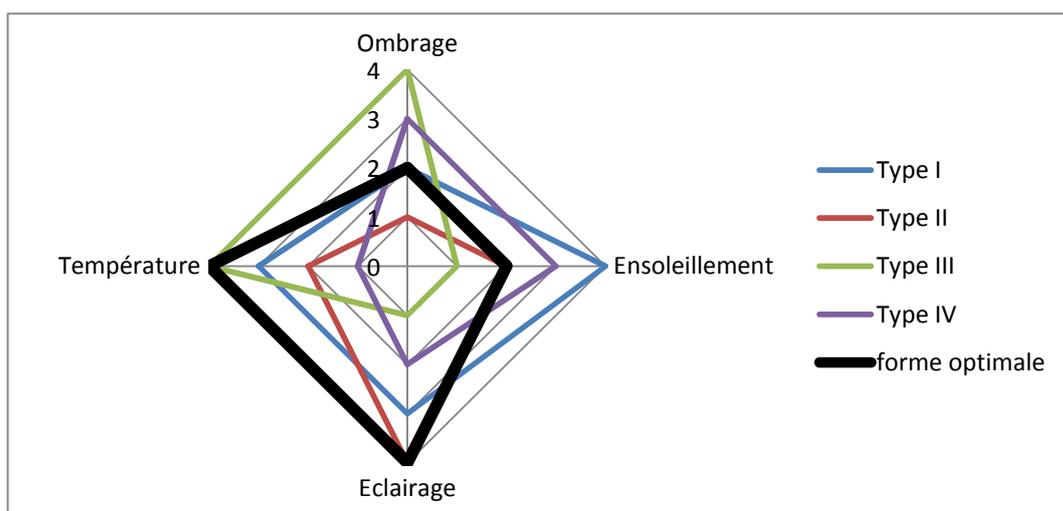


Figure. VI.111. Diagrammes radar des paramètres des quatre types de CEM, ainsi que le diagramme optimal, mois de Décembre.

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).

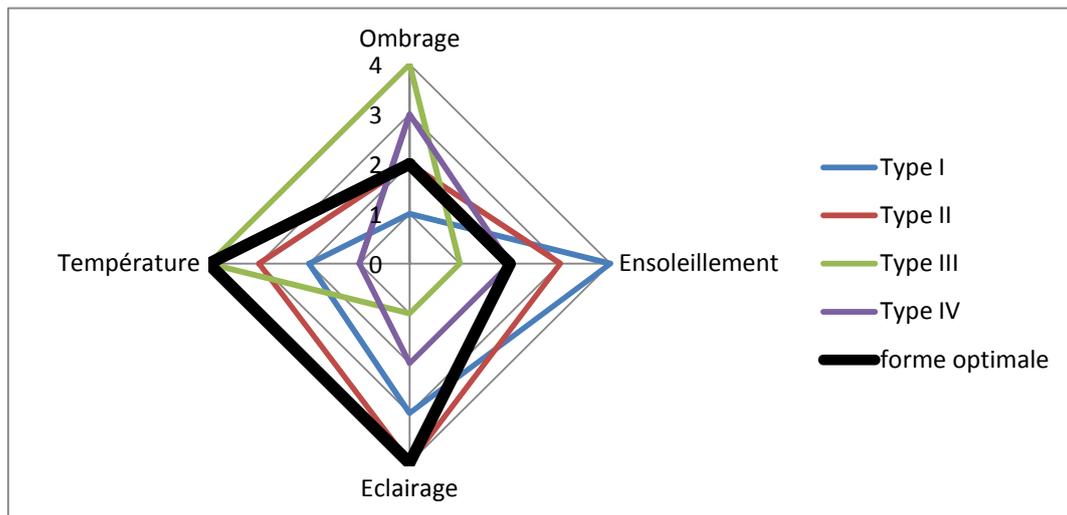


Figure. VI.112. Diagrammes radar des paramètres des quatre types de CEM, ainsi que le diagramme optimal, pour le mois de Mars.

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.

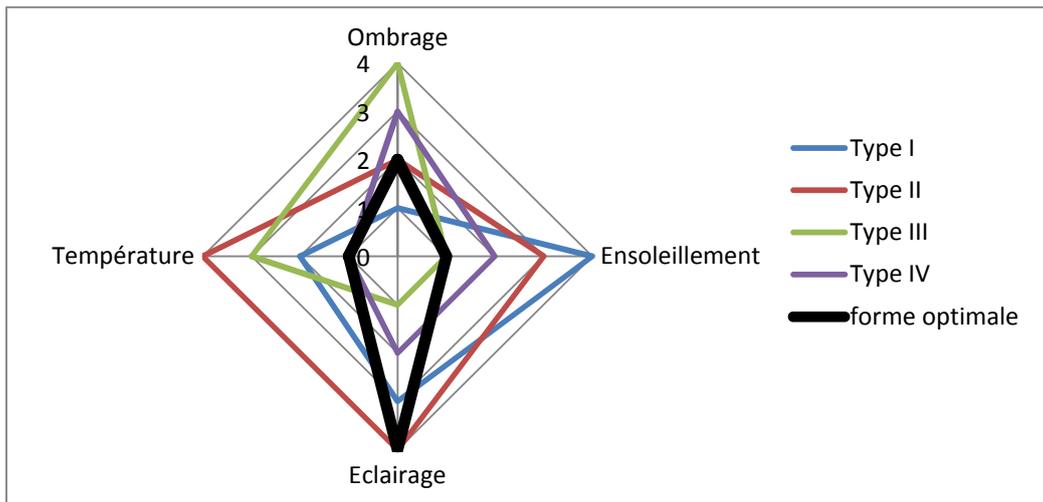


Figure. VI.113. Diagrammes radar des paramètres des quatre types de CEM, ainsi que le diagramme optimal, pour le mois de Juin.

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

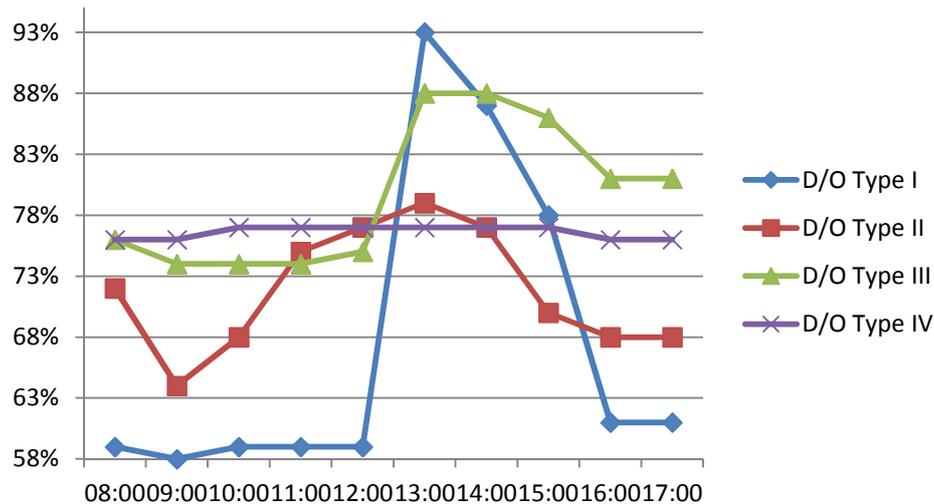


Figure VI.114. Coefficients d'ombrages des quatre types de CEM durant le mois de Décembre selon l'orientation Ouest.

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.

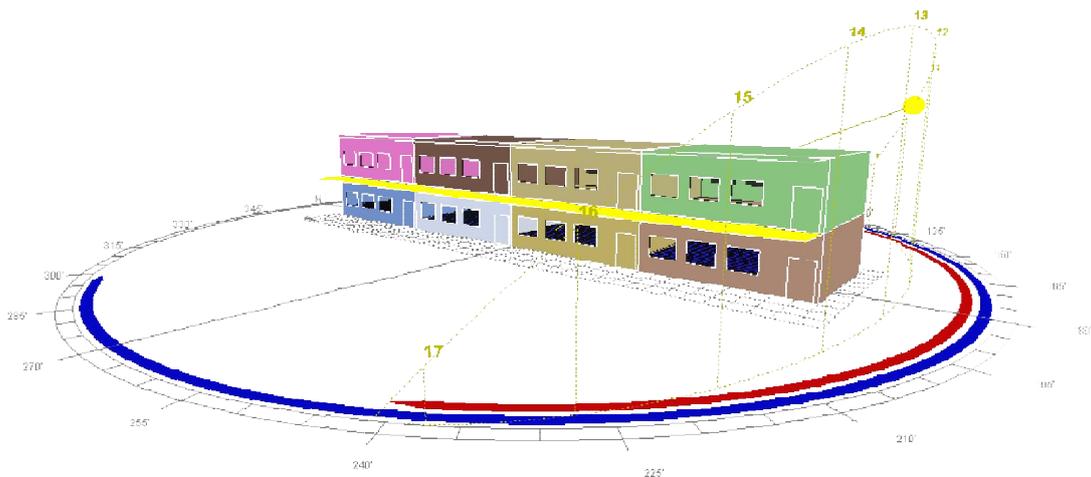


Figure.VI.115. Vue tridimensionnelle du type I en orientation Ouest ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Décembre.

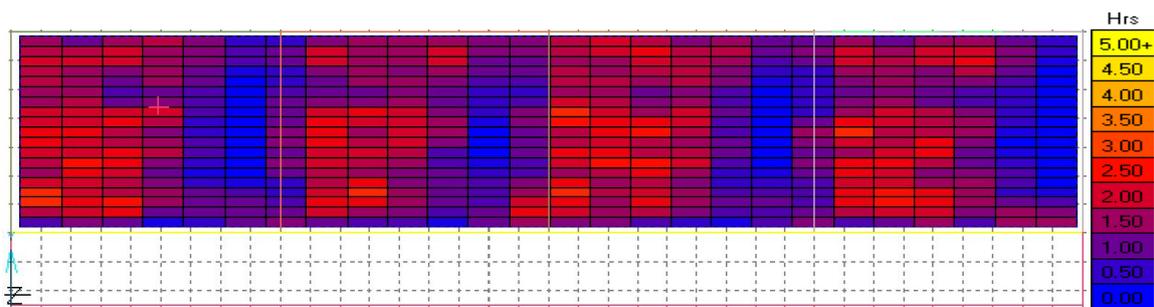


Figure VI.116. Cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Décembre pour le type I, avec une orientation Ouest du corridor.

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.

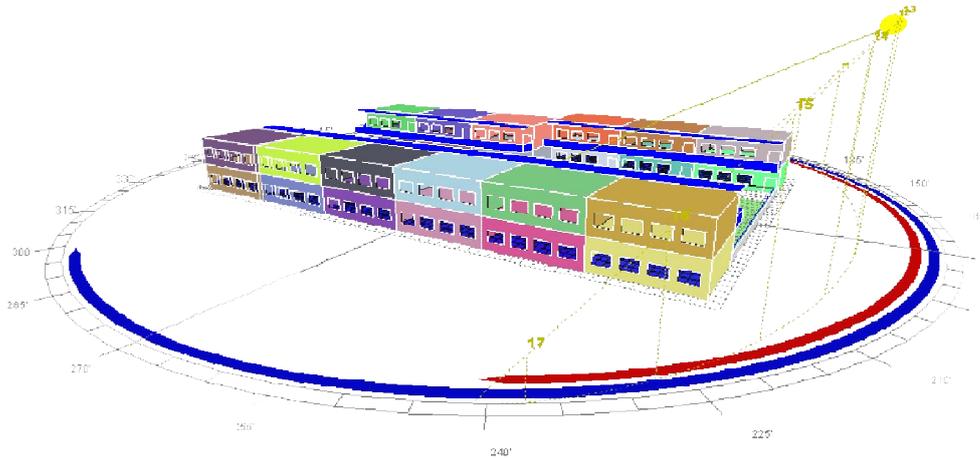


Figure.VI.117. Vue tridimensionnelle du type II en orientation Ouest et ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Décembre.

- 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.

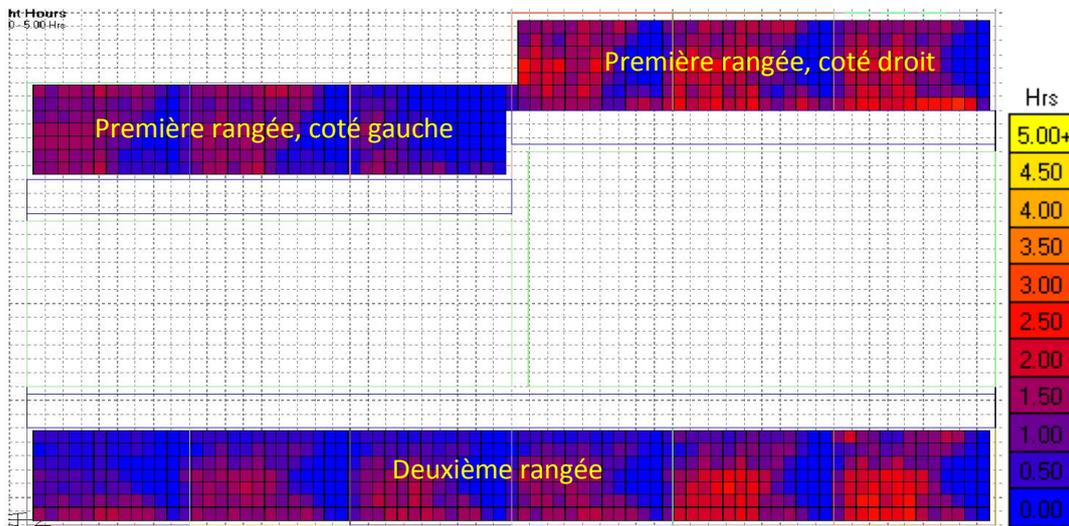


Figure VI.118. Cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Décembre pour le type II, avec une orientation Ouest du corridor.

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.

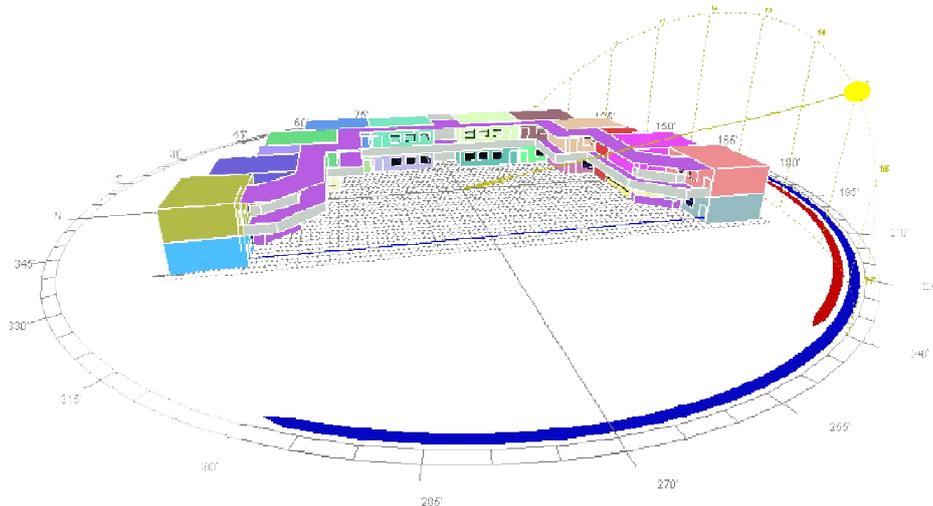


Figure.VI.119. Vue tridimensionnelle du type III en orientation Ouest ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Décembre.

- 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 répartit sur des faibles surfaces, sauf les salles inférieures orientés vers le Sud où la tache solaire est répartit sur une surface de 37% et qui dure jusqu'à cinq heures.

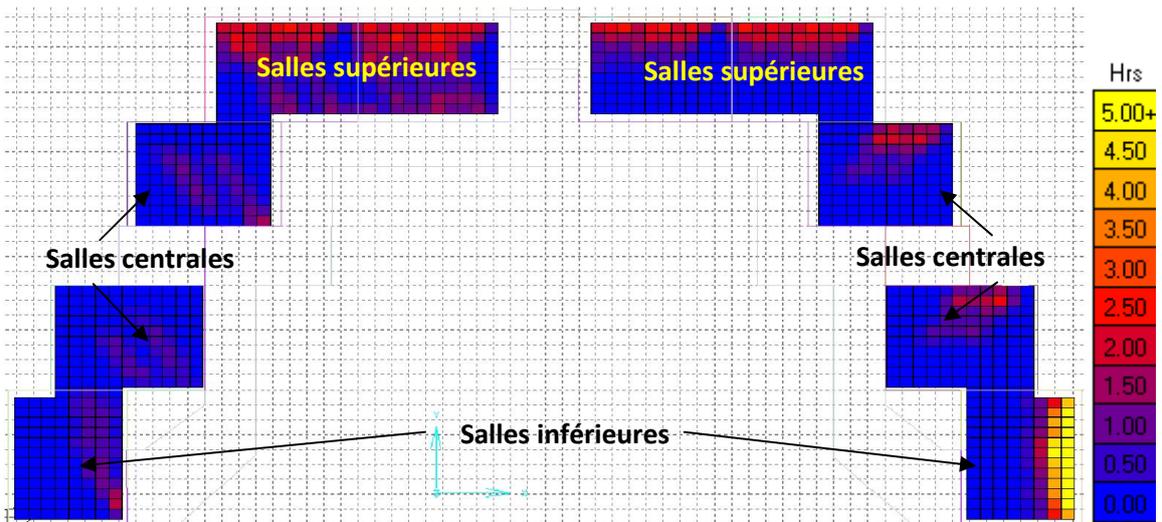


Figure VI.120. Cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Décembre pour le type III, avec une orientation Ouest du corridor.

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.

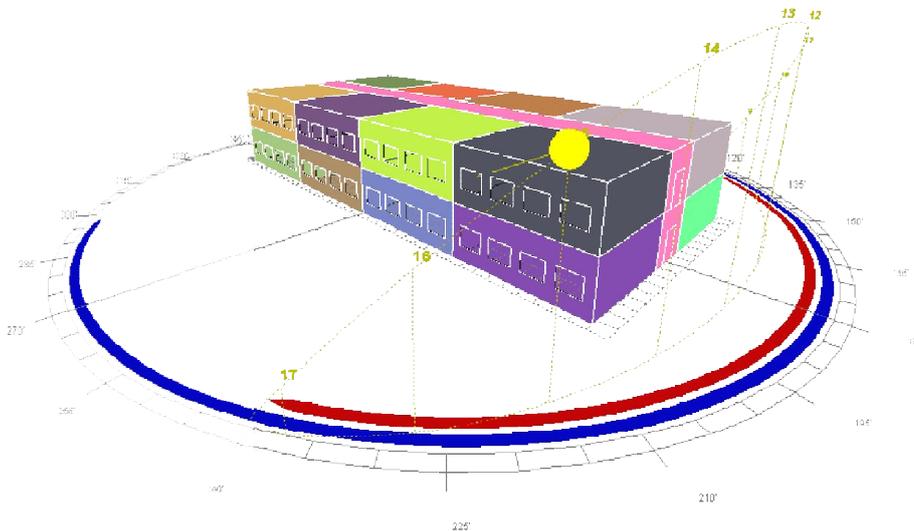


Figure.VI.121. Vue tridimensionnelle du type IV en orientation Ouest ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Décembre.

- 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'enseiement 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.

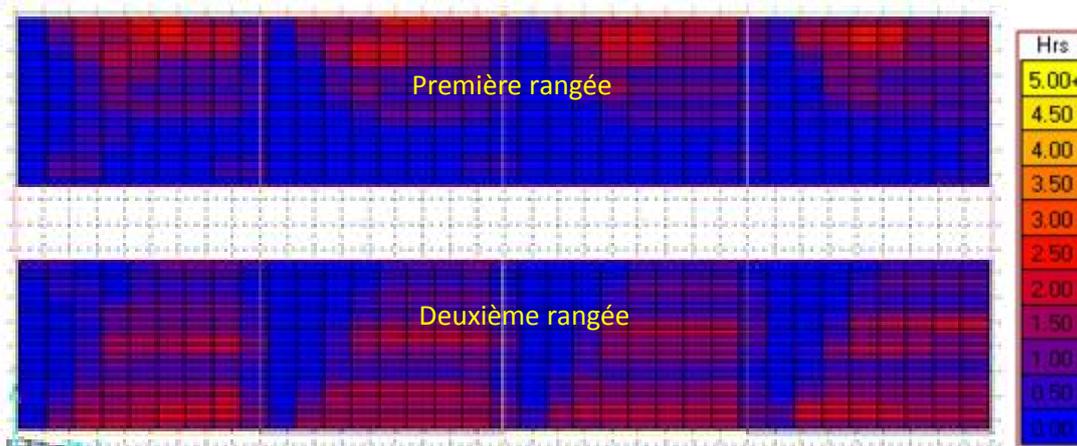


Figure VI.122. Cumul d'enseiement entre 8h et 17h du 21 Décembre pour le type IV, avec une orientation Ouest du corridor.

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 :

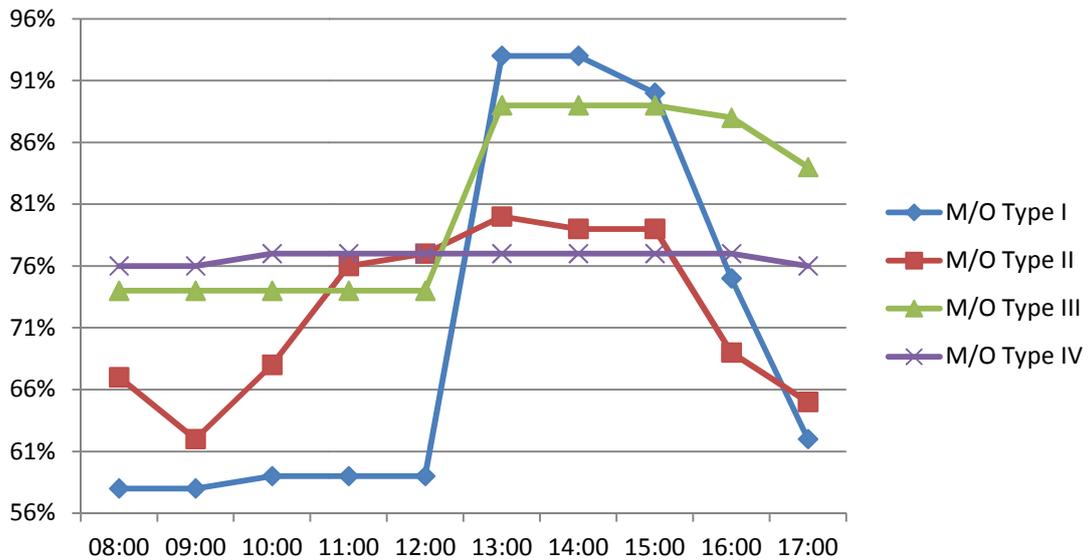


Figure VI.123. Coefficients d'ombrages des quatre types de CEM durant le mois de Mars selon l'orientation Est.

Pour le type I :

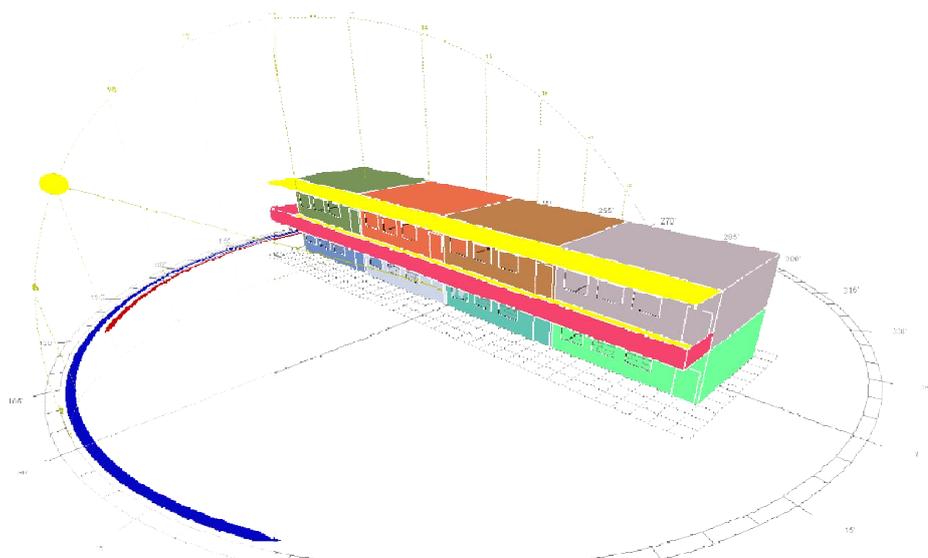


Figure.VI.124. Vue tridimensionnelle du type I orienté vers l'Ouest ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Mars.

- 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.

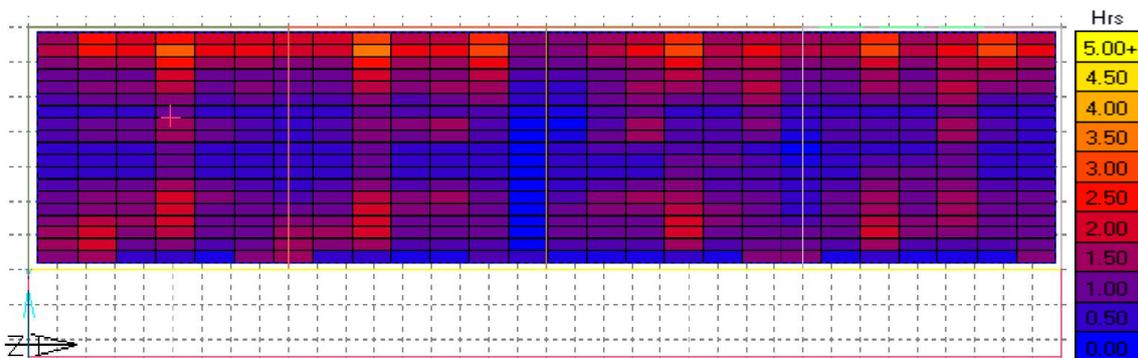


Figure VI.125. Cumul d'ensoleillement entre 8h et 17h pour la journée du 21 Mars pour le type I, avec une orientation Ouest du corridor.

Pour le type II :

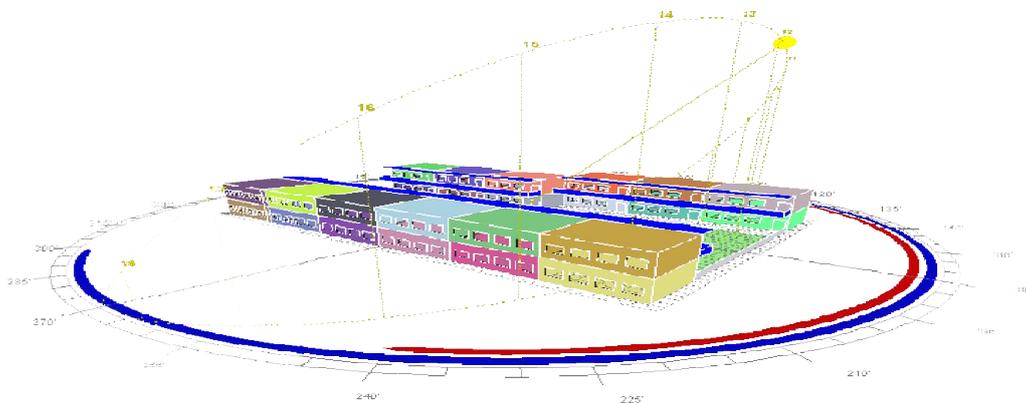


Figure.VI.126. Vue tridimensionnelle du type II orienté vers l'Ouest ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Mars.

- 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 réparti 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 réparti 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.

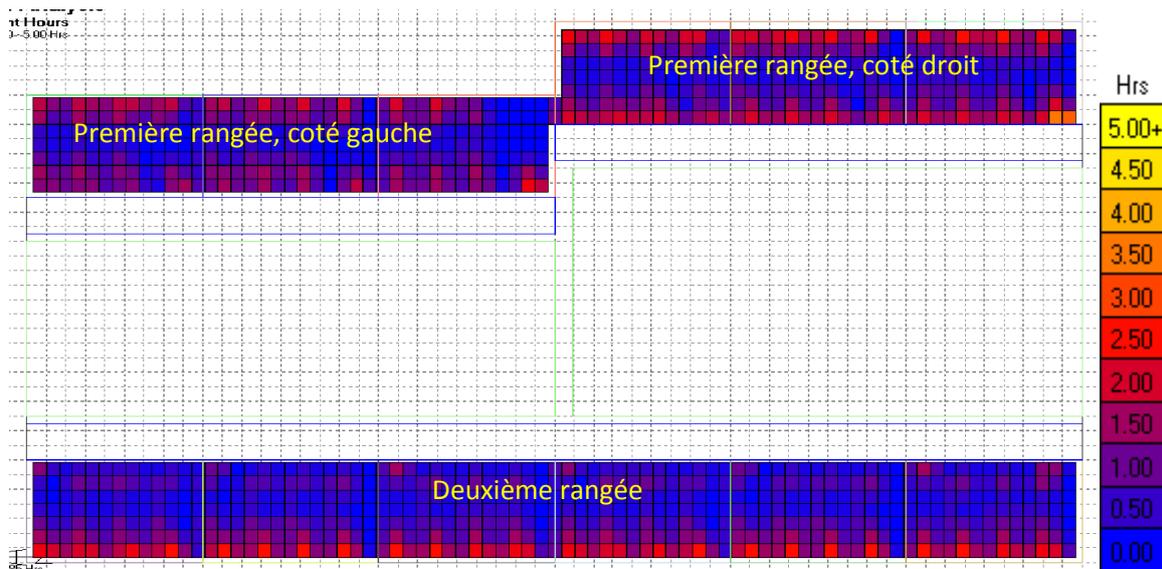


Figure VI.127. Cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Mars pour le type II, avec une orientation Ouest du corridor.

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.

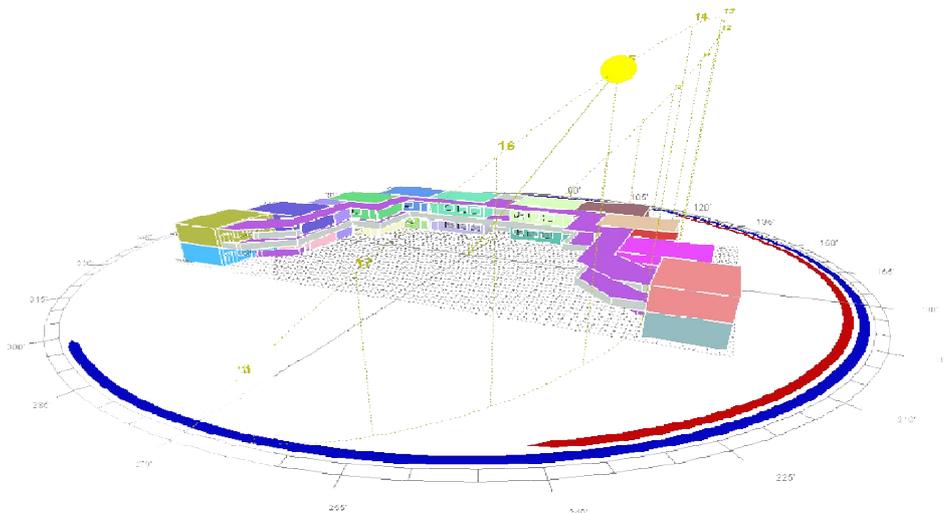


Figure.VI.128. Vue tridimensionnelle du type III orienté vers l'Ouest ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Mars.

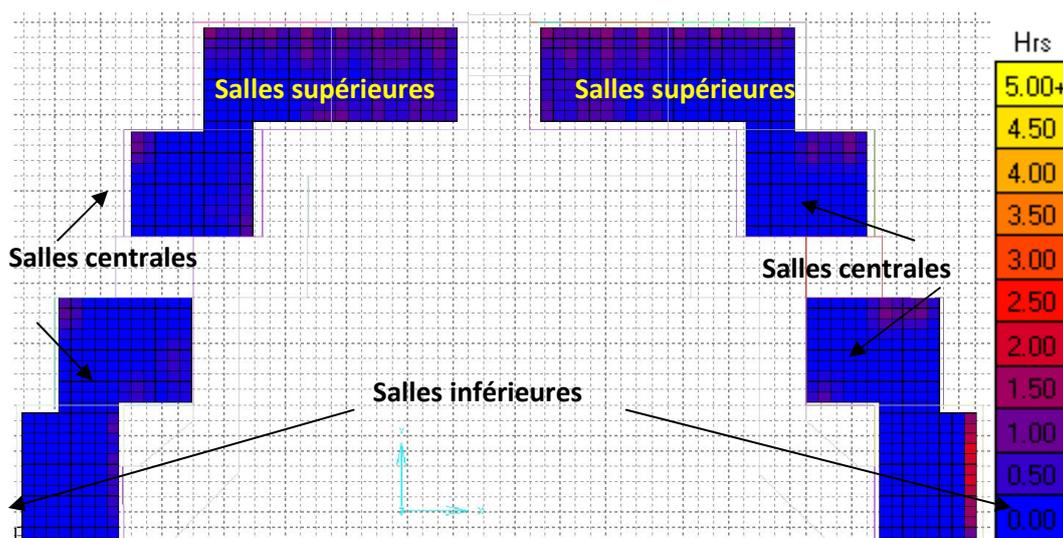


Figure VI.129. Cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Mars pour le type III, avec une orientation Ouest du corridor.

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.

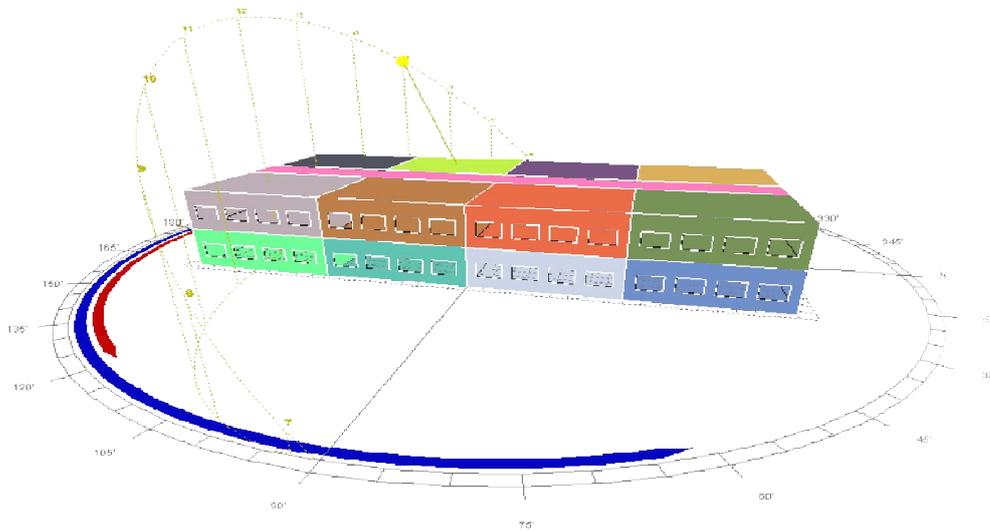


Figure.VI.130. Vue tridimensionnelle du type IV en orientation Ouest ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Mars.

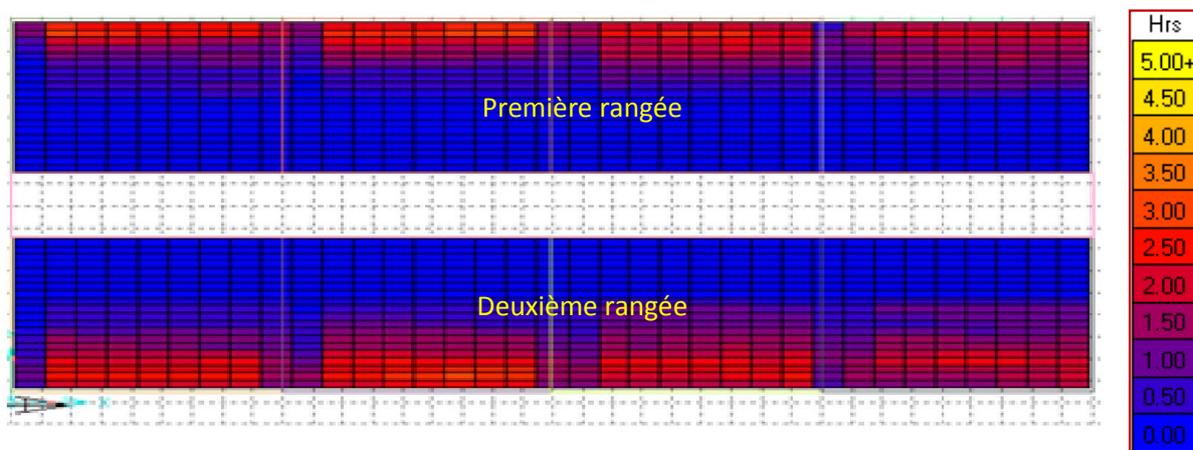


Figure VI.131. Cumul d'ensoleillement entre 8h et 17h du 21 Mars pour le type III, avec une orientation Ouest du corridor.

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 :

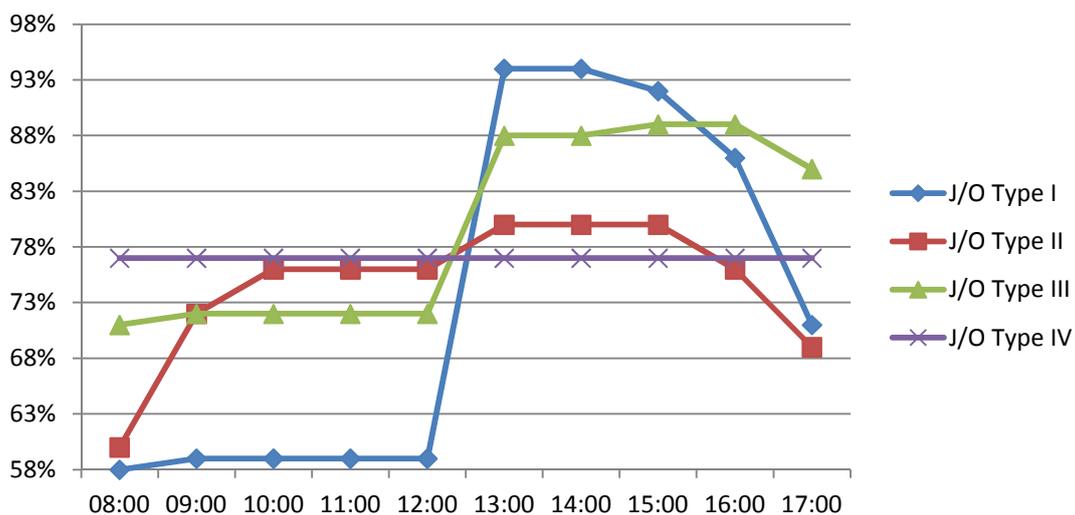


Figure VI.132. Coefficients d'ombrages des quatre types de CEM durant le mois de Juin selon l'orientation Est

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.

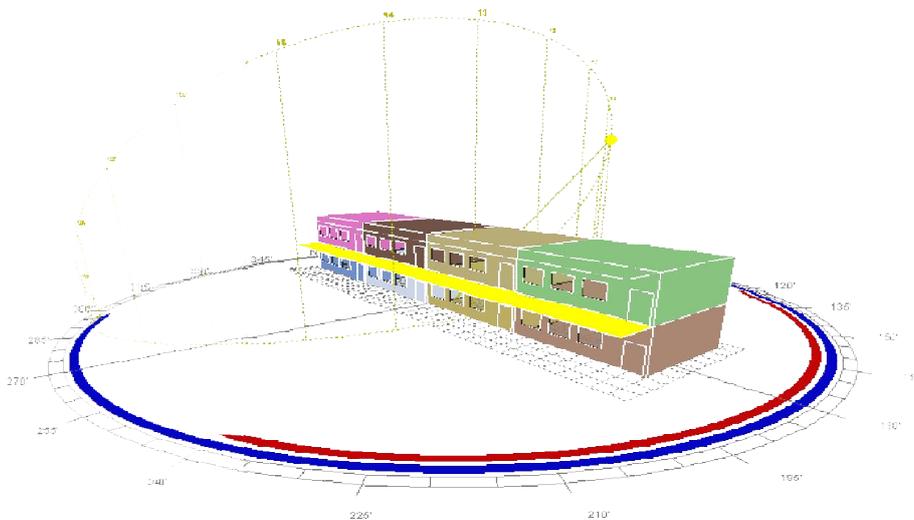


Figure.VI.133. Vue tridimensionnelle du type I en orientation Ouest ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Juin.

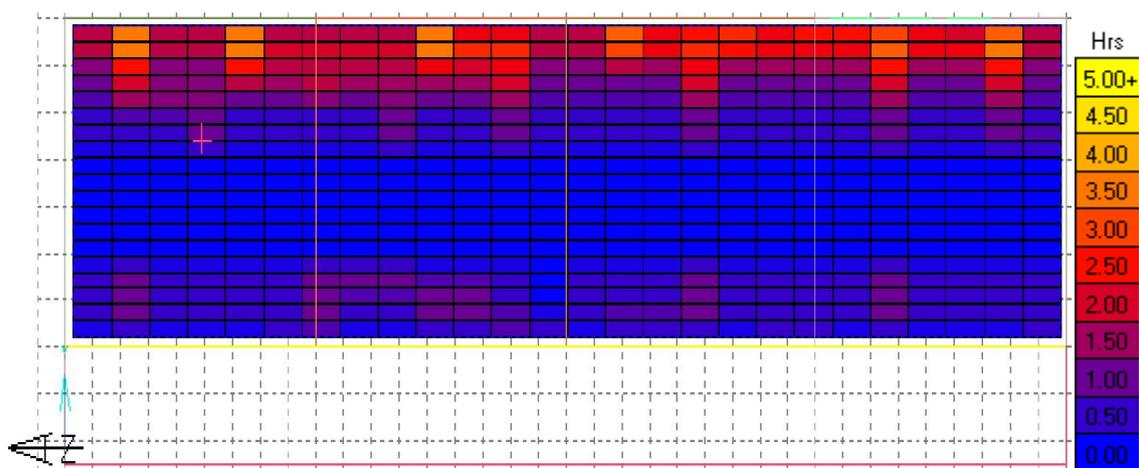


Figure VI.134. Cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Juin pour le type I, avec une orientation Est du corridor.

- 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%.

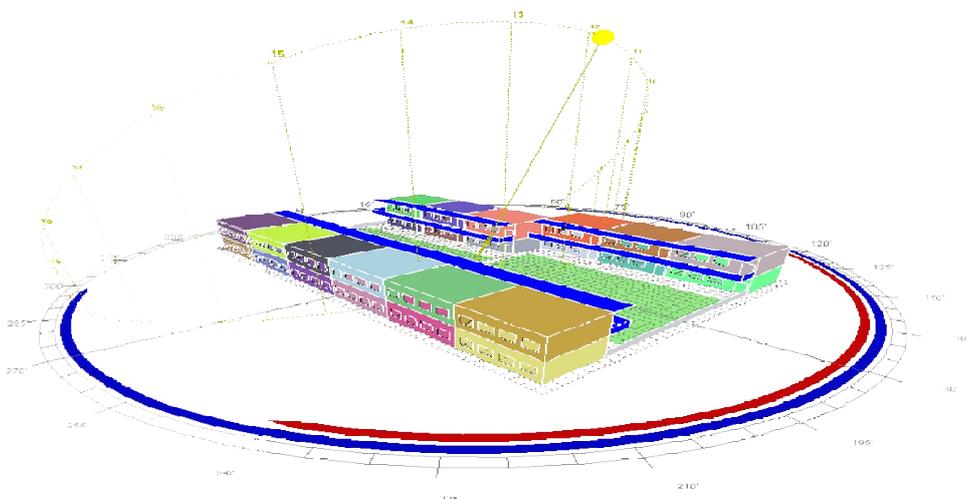


Figure.VI.135. Vue tridimensionnelle du type II en orientation Ouest ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Juin.

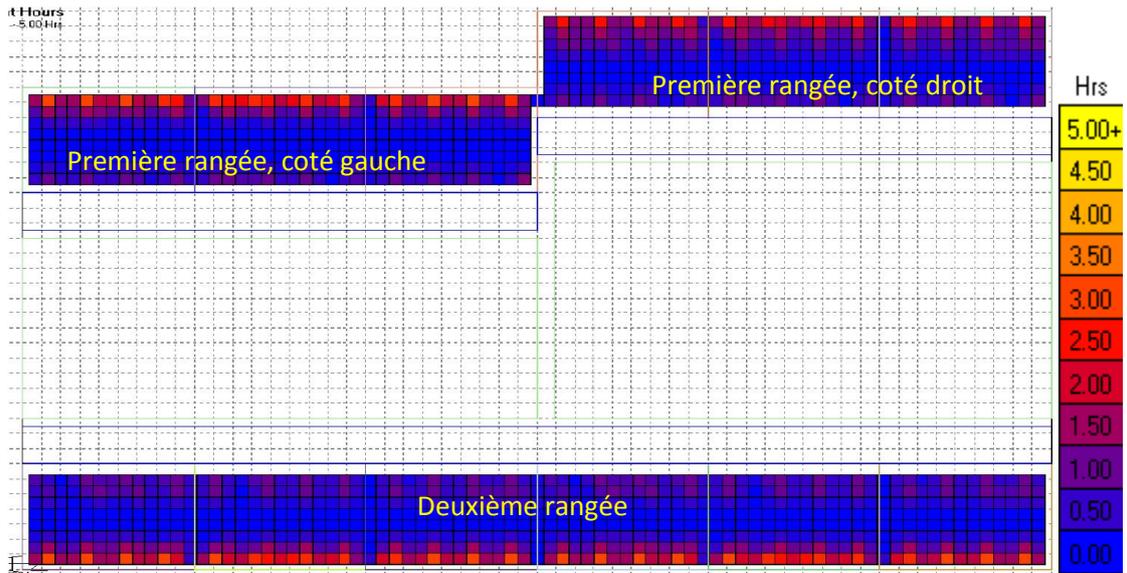


Figure VI.136. Cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Juin pour le type II, avec une orientation Ouest du corridor.

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.

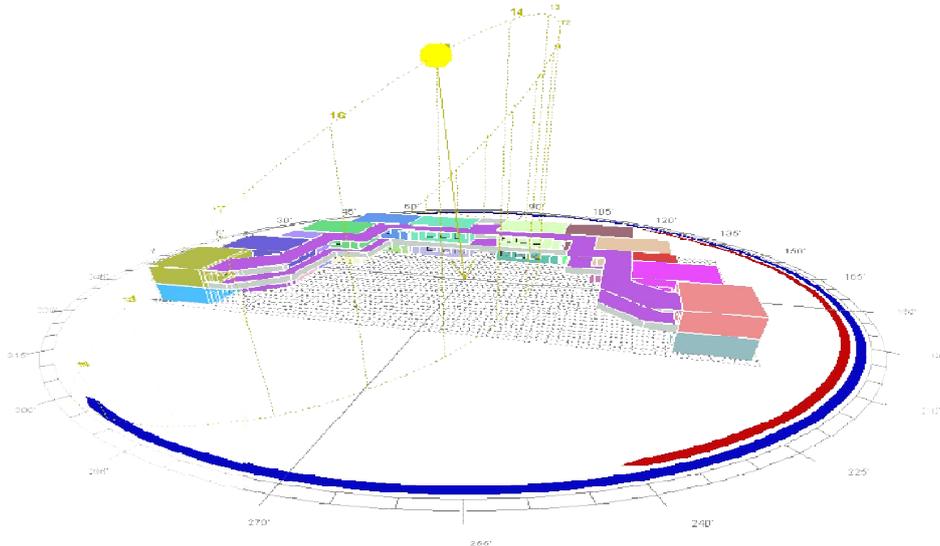


Figure.VI.137. Vue tridimensionnelle du type III en orientation Est ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Juin.

- 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 réparti 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 réparti sur une faible surface avec une durée maximale d'une heure et demi.

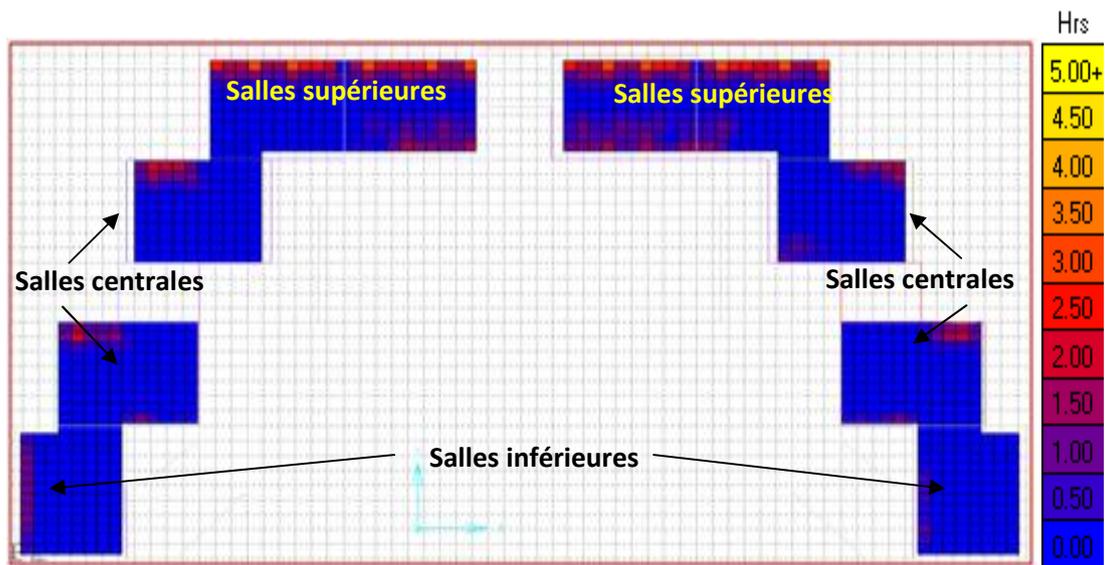


Figure VI.138. Cumul d'enseillement entre 8h et 17h du 21 Juin pour le type III, avec une orientation Ouest du corridor.

Pour le type IV :

- Il garde toujours la valeur de 77% durant toute la journée d'étude. Vu la symétrie de la conception de se 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.

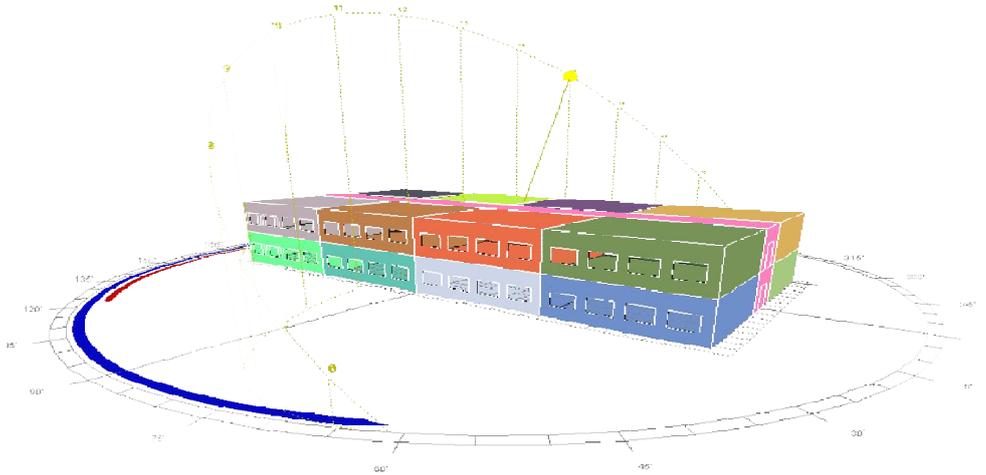


Figure.VI.139. Vue tridimensionnelle du type IV en orientation Ouest ainsi que la trajectoire du soleil pour la journée du 21 Juin.

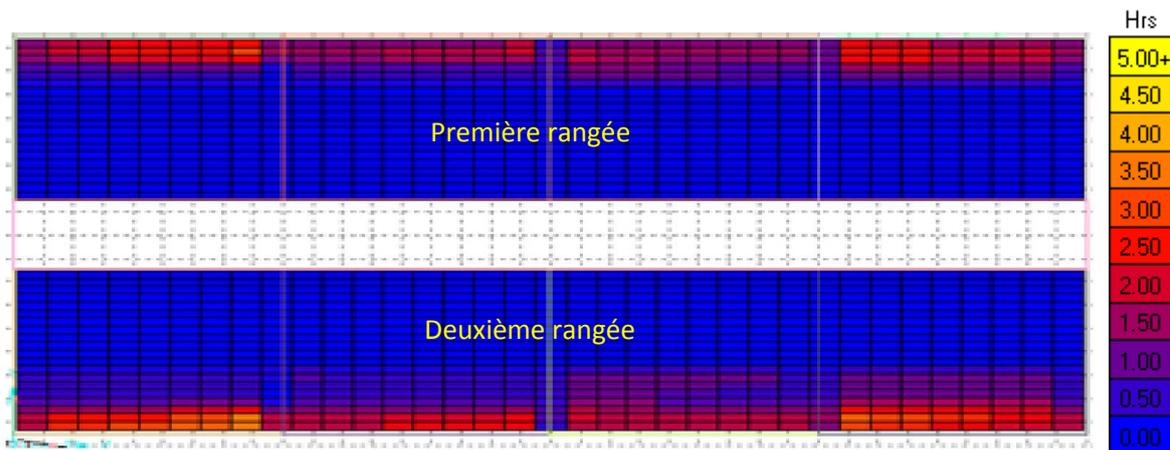


Figure VI.140 Cumul d'insolation entre 8h et 17h du 21 Juin pour le type IV, avec une orientation Ouest du corridor.

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

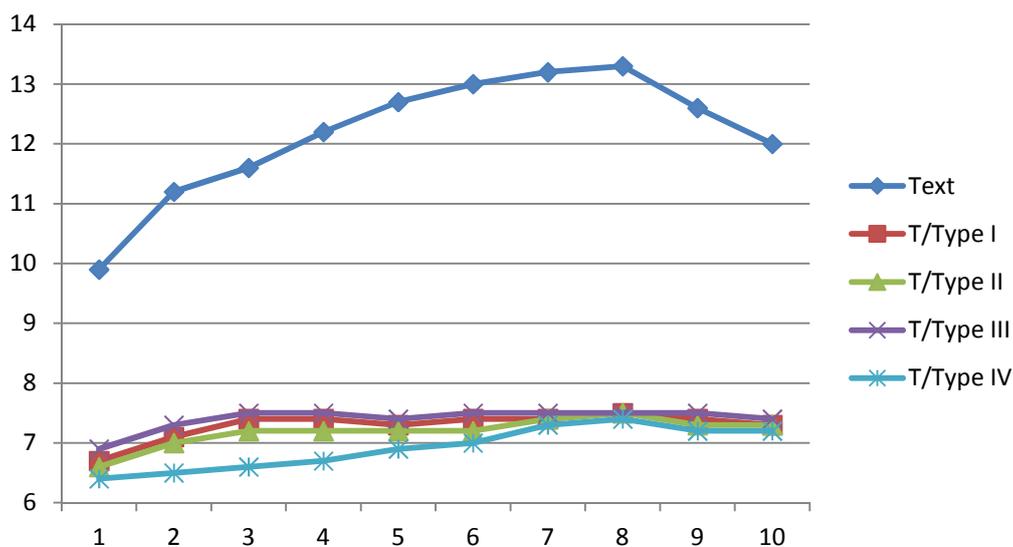


Figure.VI.141. Température extérieure et températures à l'intérieures des salles des quatre types de CEM pour la journée du 21 Décembre.

- 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).

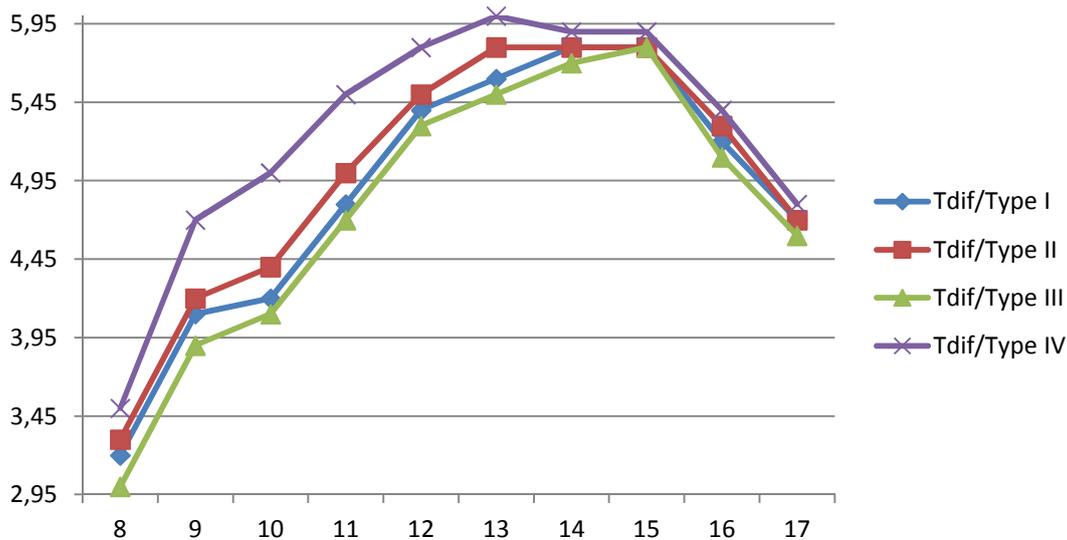


Figure VI.142. Gradients de températures des quatre types de CEM pour la journée du 21 Décembre.

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.

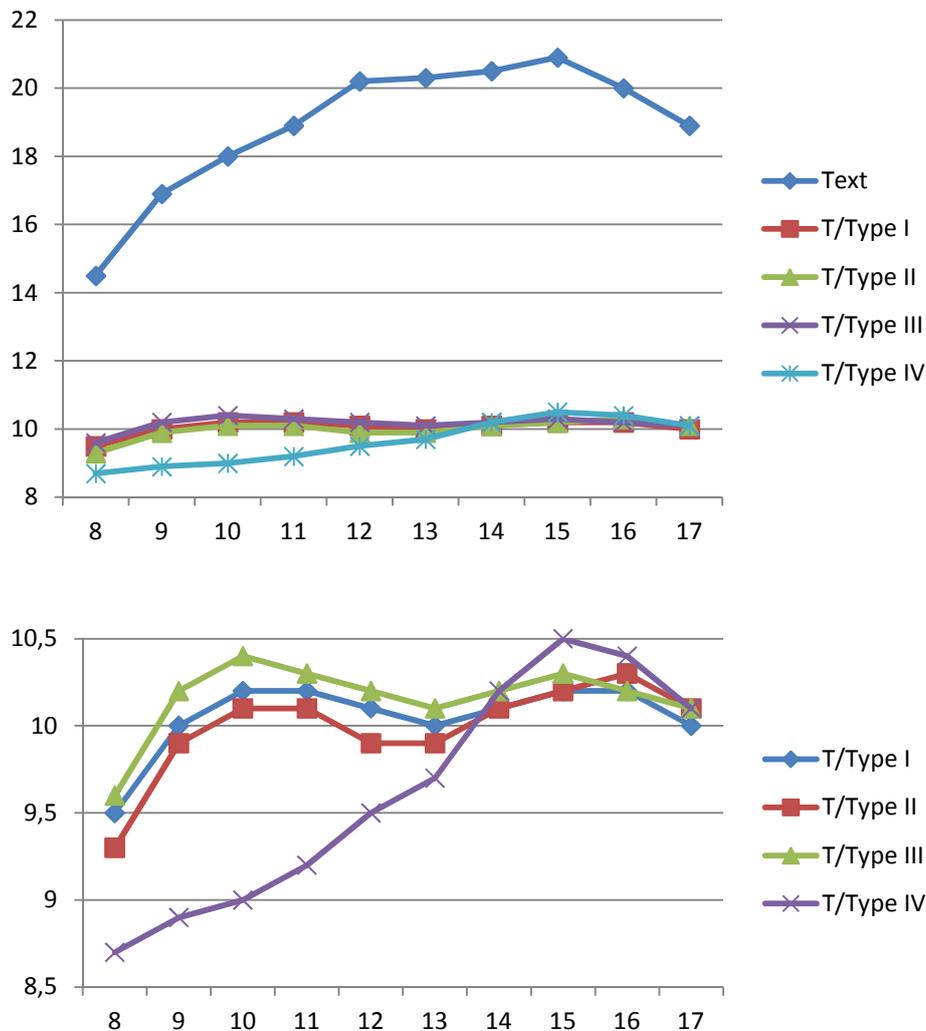


Figure VI.143. Température à l'extérieure pour la journée du 21 Mars et les températures à l'intérieure des salles des quatre types de CEM.

- 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.

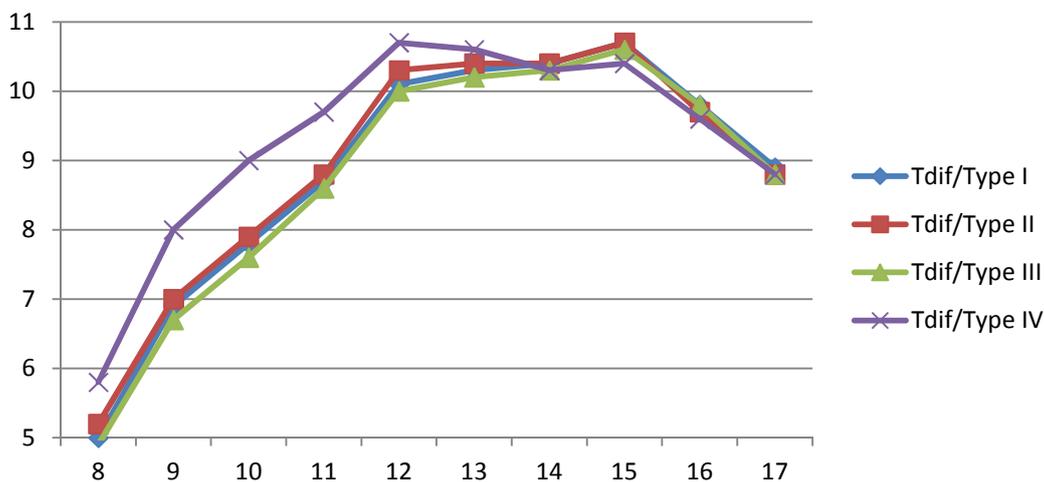


Figure VI.144. Gradients de températures des quatre types de CEM pour la journée du 21 Mars.

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 :

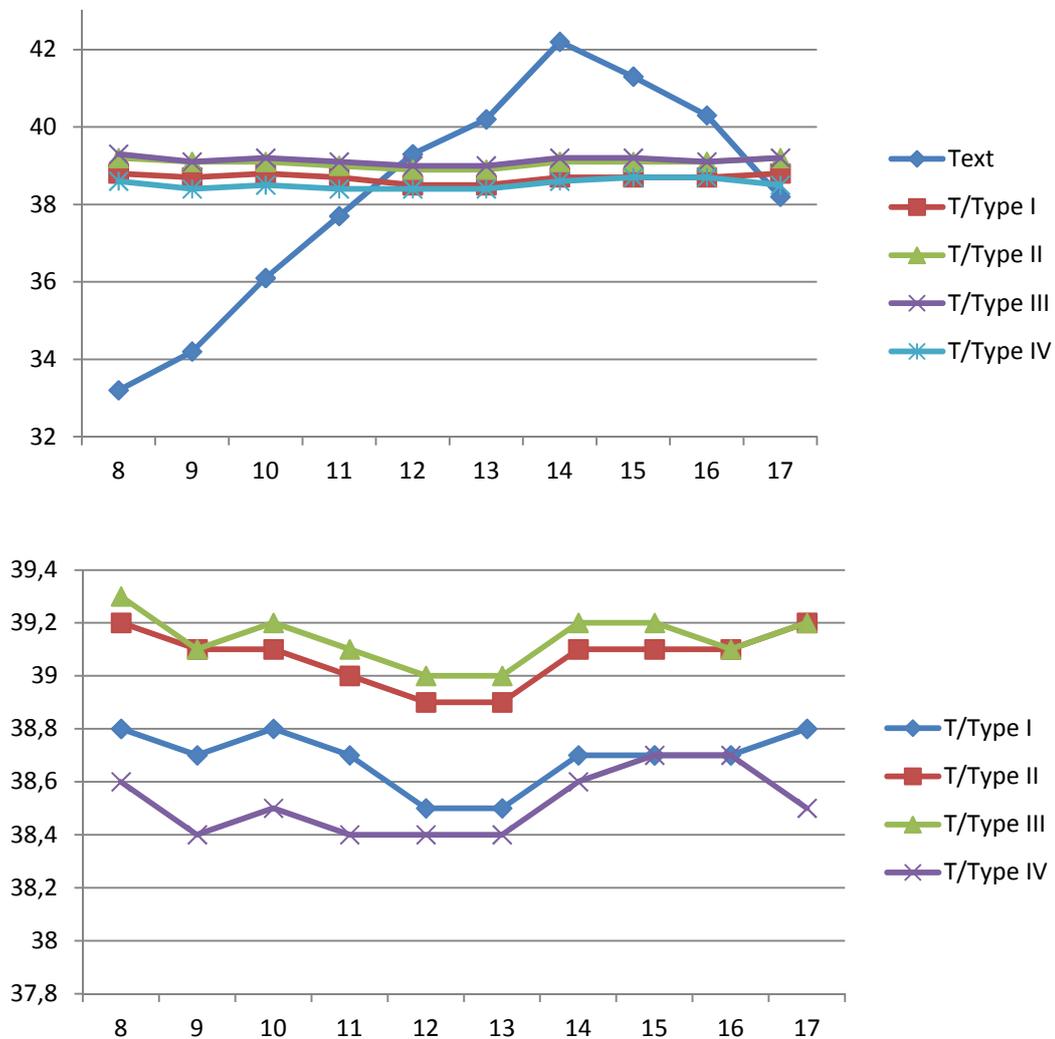


Figure VI.145. Température à l'extérieur pour la journée du 21 Juin et les températures à l'intérieure des salles des quatre types de CEM.

- 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).

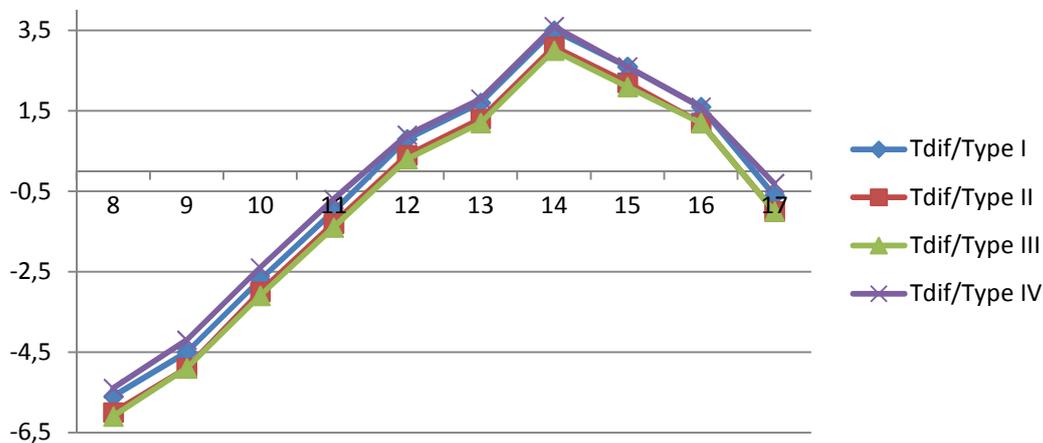


Figure VI.146. Gradients de températures des quatre types de CEM pour la journée du 21 Juin.

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.

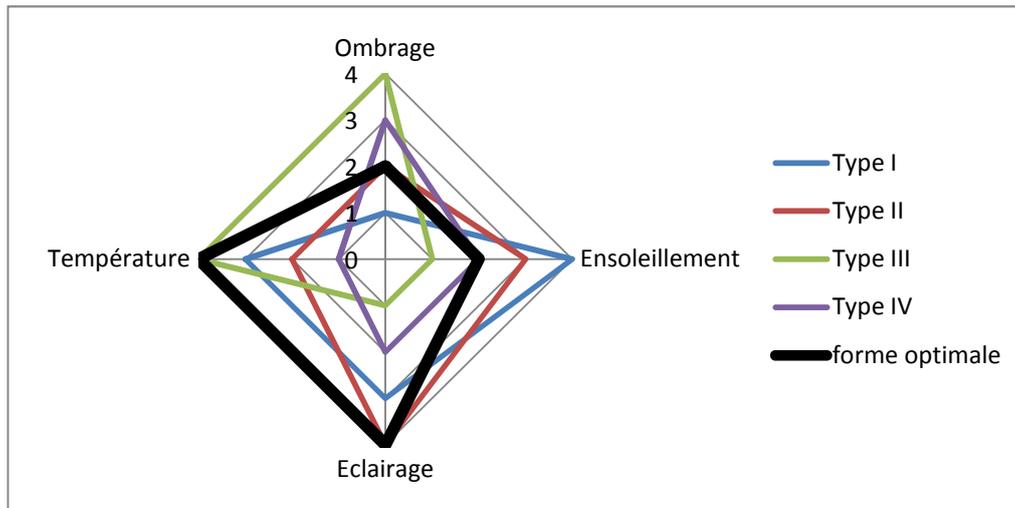


Figure. VI.147. Diagrammes radar des paramètres des quatre types de CEM, ainsi que le diagramme optimal, pour le mois de Décembre.

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).

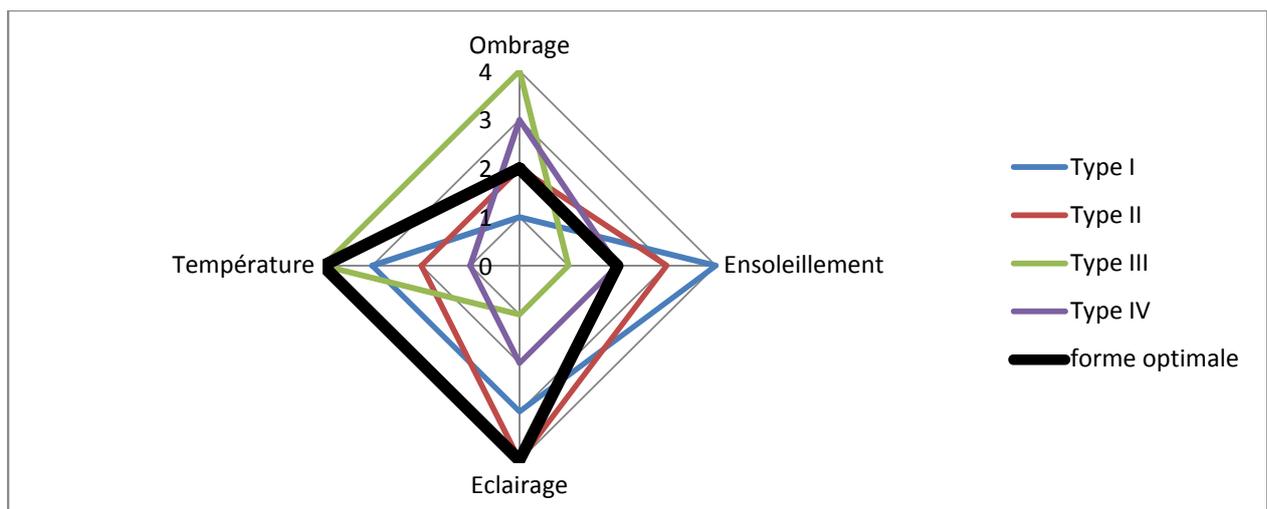


Figure. VI.148. Diagrammes radar des paramètres des quatre types de CEM, ainsi que le diagramme optimal, mois de Mars.

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.

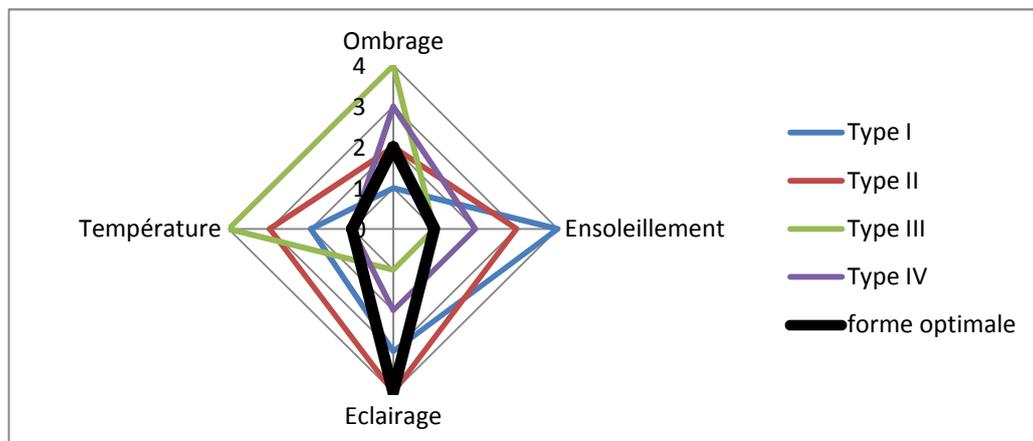


Figure. VI.149. Diagrammes radar des paramètres des quatre types de CEM, ainsi que le diagramme optimal, mois de Juin.

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 ECOTECT. 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.