

## Détermination De L'orientation Optimale D'un Bâtiment En Géobéton En Côte d'Ivoire

*Tanoé Koffi Fernandez,*

Institut de Recherche sur les Energies Nouvelles,  
Université Nangui Abrogoua, IREN/UNA

*Gbaha Prosper,*

*Ekoun Magloire,*

Institut National Polytechnique Felix Houphouët Boigny, INP-HB

Doi: 10.19044/esj.2018.v14n27p29 [URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n27p29](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n27p29)

---

### Abstract

The objective of this research is to evaluate the impact of the orientation of a building, built in clay brick, on the temperatures of its faces, to determine the best orientation that maximizes building ventilation and minimizes overheating. We first performed a climate analysis of the site using the consultant climate software, then we have evaluate the temperatures of each face using a dynamic thermal simulation. The analysis indicates that in order to benefit from good ventilation, the building should be oriented along the Southwest face; and that an orientation along the South face would reduce the exposure of the building to sunshine. Also, numerical evaluation shows an overheating of about 4° C between the South and North faces; and about 2° C between the East and West faces. In addition, the South, North, East and West faces reach maximum temperatures of 34.75° C, 38.5° C, 40.25° C and 42° C respectively. The choice of an orientation can induce overheating from the wall, up to 7.25° C. A joint analysis of these two results leads to the conclusion that the best orientation for a building in Côte d'Ivoire is the South direction.

---

**Keywords:** Clay brick, walls, Thermal, Building.

---

### Résumé

L'objectif de cette recherche est d'évaluer l'impact de l'orientation d'un bâtiment, construit en géobéton, sur les températures de ses faces, afin de déterminer la meilleure orientation qui maximise la ventilation du bâtiment et minimise la surchauffe. Nous avons d'abord réalisé une analyse climatique du site à l'aide du logiciel climat consultant, puis nous avons évalué les températures de chaque face à l'aide d'une simulation thermique dynamique.

L'analyse indique que pour profiter d'une bonne ventilation, le bâtiment devrait être orienté suivant la face Sud-Ouest; et qu'une orientation suivant la face Sud permettrait de réduire l'exposition du bâtiment à l'ensoleillement. Aussi, grâce à l'évaluation nous notons une surchauffe d'environ 4° C entre les faces sud et nord; et environ 2° C entre les faces Est et Ouest. Par ailleurs, les faces Sud, Nord, Est et Ouest atteignent respectivement des températures maximales de 34,75° C, 38,5° C, 40,25° C et 42° C. Le choix d'une orientation peut induire une surchauffe, de la paroi, allant jusqu'à 7,25° C. Une analyse conjointe de ces deux résultats permet de déduire que la meilleure orientation pour un bâtiment en Côte d'Ivoire est la direction Sud.

---

**Mots clés:** Géobéton, faces, Thermique, Bâtiment.

## **Introduction**

La prise en compte de la dimension climatique dans la conception architecturale d'un bâtiment a pour seul but d'obtenir une construction en harmonie avec l'environnement et dont le fonctionnement réduit, au minimum, l'utilisation énergétique (Kharchi, 2013). L'étude de l'orientation du bâtiment fait partie des principes de conception d'un bâtiment climatique (COURGEY et al., 2006). Les travaux sur l'orientation de bâtiment comme (Camous et al, 1983) prennent généralement en compte deux dimensions : l'ensoleillement moyen et des vents dominants. Cette orientation est désignée par la direction de la face principale, c'est-à-dire en général celle qui comporte la plus grande surface de vitrage (Nadia SAIFI, 2015). Aussi, si dans les architecture en zone froide on évite les entrées d'air et on cherche à exposer, au maximum, le bâtiment au soleil, l'architecture en zone chaude impose une orientation de manière à réduire les apports solaires mais aussi à augmenter la ventilation naturelle (Feriadi, 2002), (Givoni, 1998) et une augmentation de l'exposition au soleil (Assimakopoulou, 2004). L'influence de l'orientation, sur les températures des surfaces extérieures affecte, ainsi, tout d'abord le flux de chaleur à travers le mur et les températures de l'air intérieur du bâtiment (Barbara *et al.*, 2012).

## **Matériels et Méthodes**

### **Zone d'étude**

Notre étude est réalisée pour le climat de la Côte d'Ivoire et les données météorologiques sont issues de la base de données meteonorm (meteonorm 7, 2013.) et au format TRY avec une extension epw. Elles sont fournies avec des fichiers .ddy (day year) qui regroupent l'analyse statistique des données horaires et contient les jours types de chaque saisons.

Notre fichier epw contient les données annuelles, mensuelles, journalières et horaires pour l'année 2005 du site de la Côte d'Ivoire.

Les coordonnées de la station d'enregistrement d'Abidjan-Aéroport sont les suivantes :

<b>Latitude (dégré)</b>	<b>5,25</b>
<b>Longitude (dégré)</b>	<b>-3,9</b>
<b>Elevation (mètre)</b>	<b>8,00</b>

### Présentation du bâtiment d'étude

Il s'agit d'un bâtiment résidentiel typique de la Côte d'Ivoire. Le modèle constructif est issu des architectures valid es par le gouvernement dans le cadre de la construction de 60000 logements sociaux. L'entrée principale du bâtiment est orient e plein Nord. Les murs sont construits en géobéton d'une épaisseur de 0,15 m et de 0,1 m respectivement pour l'extérieur et pour l'intérieur et sont recouverts à l'extérieur et l'intérieur d'un enduit de ciment d'une épaisseur de 0,015 m. Les cloisons ont la même composition que le mur. Le plancher est composé d'une couche de latérite surmont e d'une couche de béton comme chape avec une finition lisse. Le toit en double pente vo t e est en tôle d'acier galvanisé avec comble. Le comble n'est pas ventilé. La face extérieure est pré-laqu e d'une couleur situ e entre le rouge et l'orange. L'aire totale des murs est estim e à 115,05 m<sup>2</sup> dont 26,56 m<sup>2</sup> sont orientés plein Nord, 35,57 m<sup>2</sup> sont orientés plein Est, 17,36 m<sup>2</sup> sont orientés plein Sud et 35,57 m<sup>2</sup> sont orientés plein Ouest. Les surfaces totales des fenêtres sont de 4,56 m<sup>2</sup> dont 2 m<sup>2</sup> sur la face Nord soit 7,53 % de la surface de ce mur ; de 0,16 m<sup>2</sup> sur la face Est dont 0,45% de la surface de ce mur et de 2,4 m<sup>2</sup> sur la face Sud soit 13,82 m<sup>2</sup> de la surface de ce mur. Le bâtiment a un volume intérieur de 297,3 m<sup>3</sup>. Notre bâtiment est réalisé en une seule zone thermique; Ce qui signifie que les températures de l'air l'intérieur de tout le bâtiment sont consid r es homogènes. Aussi nous considérons les portes des chambres ouvertes.



**Figure 1:** modélisation sur Sketch Up du bâtiment d'étude

**Tableau 1 : matériau constituant l'enveloppe et leurs caractéristiques thermiques**

	Matériaux	conductivité (W/m °C)	épaisseur (m)	chaleur massique (J/kg °C)	masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )
<b>PLANCHER</b>	Béton	1,4	0,1	1700	2200
<b>INTERIEUR</b>	enduit intérieur	0,833	0,015	1000	1000
<b>MURS EXTERIEURS</b>	enduit extérieur	0,833	0,015	1000	1000
	géobéton extérieur	0,9	0,15	3200	1000
	enduit intérieur	0,833	0,015	1000	1000
<b>MURS INTERIEURS</b>	enduit intérieur	0,833	0,015	1000	1000
	géobéton intérieur	0,9	0,1	3200	1000
	enduit intérieur	0,833	0,015	1000	1000
<b>TOITURE</b>	TOLE LAQUE ROUGE	50	0,002	450	7800
	ACIER GALVA	50	0,002	450	7800
	TOLE ACIER	50	0,01	450	7800
<b>PLAFOND</b>	bois	0,09	0,0127	1170	592
<b>PORTE</b>	bois 25mm	0,0254	0,15	1630	608

### Présentation des outils d'étude : les logiciels

**Google SketchUp** : Google SketchUp est un logiciel particulièrement efficace pour la modélisation géométrique en 3 dimensions de bâtiments. Il est mis gratuitement à disposition par l'éditeur Google. Il autorise le plug in OpenStudio afin de fournir au modèle architectural des propriétés thermiques. OpenStudio : Grâce à Open Studio, Energyplus peut lire les données géométriques, créé à partir de Google SketchUp, afin de pouvoir réaliser des calculs thermiques sélectionnés, par ailleurs, dans la rubrique RunManager. Il permet, ainsi, à l'utilisateur d'accéder au modèle, d'exécuter des tests de simulation et d'examiner les données. Il prend actuellement en charge les simulations EnergyPlus.

**Energyplus** : La simulation thermique au sens d'Energyplus est l'interaction d'un modèle architectural de bâtiment, d'un modèle climatique et d'un modèle d'utilisation de bâtiment. Ce dernier modèle ne sera pas pris en compte car nous considérons notre bâtiment en évolution libre c'est-à-dire sans système énergétique. Par conséquent, les principales hypothèses concernent l'enveloppe du bâtiment, l'aérialique, et le modèle numérique de résolution. Aussi, La méthode des fonctions de transfert "CTFs " a été utilisée

pour la résolution des équations de transfert de chaleur dans les parois et au niveau de la toiture. Concernant les échanges convectifs, nous avons considéré la corrélation TARP (Thermal Analysis Research Program) proposée par l'ASHRAE pour les surfaces intérieures et la corrélation DOE-2 pour les surfaces extérieures. Par ailleurs, le modèle du ciel est basé sur le modèle empirique décrit par Perez (Perez *et al.*, 1990).

**Climate consultant** : ce logiciel gratuit est essentiellement utilisé dans la conception architecturale de bâtiment où il permet la représentation graphique de tous les paramètres des données climatiques contenus dans le fichier météorologique epw. L'analyse climatique est conduite pas à pas et débouche sur une liste de lignes directrices de conception qui sont soutenues par une illustration graphique sur un diagramme psychométrique des implications sur le confort.

### Méthode de calcul des transferts de chaleur à travers l'enveloppe : CONDUCTION – CTF

La solution la plus élémentaire est l'équation qui relie le flux de chaleur traversant une surface à la variation de température des deux côtés d'un élément de surface comme l'indique l'équation suivante:

$$q_{ko}^n(t) = \sum_{j=0}^{\infty} X_j T_{o,t-j\delta} - \sum_{j=0}^{\infty} Y_j T_{i,t-j\delta} \quad (1)$$

Où  $q_{ko}^n$  est le flux de chaleur, T est la température, i signifie l'intérieur de l'élément de construction, o signifie l'extérieur de l'élément de construction, t représente le pas de temps actuel, et X et Y sont les facteurs de réponse.

La solution contient des éléments appelés fonctions de transfert de conduction (CTF). La forme de base d'une solution de fonction de transfert de conduction est représentée par l'équation suivante:

$$q_{ki}''(t) = -Z_o T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Z_j T_{i,t-j\delta} + Y_o T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \theta_j q_{ki,t-j\delta}^n \quad (2)$$

$$q_{ko}''(t) = -Y_o T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{i,t-j\delta} + Y_o T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \theta_j q_{ko,t-j\delta}^n \quad (3)$$

Pour le flux de chaleur extérieur ( $q'' = q / A$ )

où

$X_j$  Coefficient CTF extérieur,  $j = 0, 1, \dots, nz$ .

$Y_j$  Coefficient CTF à travers la paroi,  $j = 0, 1, \dots, nz$ .

$Z_j$  Coefficient CTF intérieur,  $j = 0, 1, \dots, nz$ .

$\theta_j$  Coefficient de flux CTF,  $j = 1, 2, \dots, nq$ .

$T_i$  Température de la face l'intérieur

$T_o$  Température de la face l'extérieur

$q_{ko}^n$  Flux de chaleur par conduction sur la face externe

$q^n$  Flux de chaleur par conduction sur la face interne

### Méthode de calcul de la convection: TARP

Walton a développé un modèle mathématique pour prendre en compte la convection. Ce modèle s'appelle TARP, ou Thermal Analysis Research Program. La convection extérieure est divisée en composants forcés et naturels (Walton, 1981) et le coefficient de convection totale est la somme de ces deux composants :

$$h_c = h_f + h_n \tag{4}$$

La composante de la convection forcée est basée sur la corrélation de Sparrow, Ramsey et Mass (Sparrow et al., 1979).

$$h_f = 2.537 W_f R_f \left(\frac{PV_z}{A}\right)^{1/2} \tag{5}$$

où  $W_f = 1.0$  Pour surface exposé au vent

où  $W_f = 0.5$  Pour surface non exposé au vent

Le coefficient de rugosité de surface  $R_f$  est basé sur le graphique ASHRAE de la conductance de surface (ASHRAE, 2001).

## Resultats et Discussions

### Orientation du bâtiment par rapport aux vents

Pour déterminer la direction des vents dominants nous réalisons sa distribution mensuelle.

**Tableau 2:** proportion mensuelle des directions de vents

	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jul	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
Nord	7	9	4	6	3	2	1	2	3	5	5	8
Nord-Est	3	6	3	0	1	2	1	1	2	1	2	3
Est	4	0	3	2	1	1	0	1	0	3	1	3
Sud-Est	5	5	5	7	5	8	2	10	6	1	7	4
Sud	22	30	32	24	26	26	29	24	35	19	23	21
Sud-Ouest	33	27	35	43	42	38	50	36	33	45	38	39
Ouest	14	16	10	14	18	21	15	19	16	17	14	15
Nord-Ouest	11	8	8	5	5	3	2	7	5	9	10	8

Ainsi, on remarque que pour le mois de février et le mois de septembre la direction Sud représente la direction des vents dominants. Pour tout le reste de l'année, la direction des vents dominants est le Sud-Ouest. Par ailleurs, les directions Sud-Ouest, Sud et Ouest totalisent respectivement 25,92%, 28,25%

et 15,75% des vents annuels. Ces trois directions sont, en outre, les meilleures orientations possibles à donner à un bâtiment en Côte d'Ivoire.

Cependant, l'importance d'un vent de direction et de vitesse donnée dépend de la proportion de temps pendant laquelle a lieu sa fréquence. Aussi, nous poursuivons par la prise en compte des paramètres d'intensité de vent, de températures et d'humidité grâce à la représentation de la rose des vents.

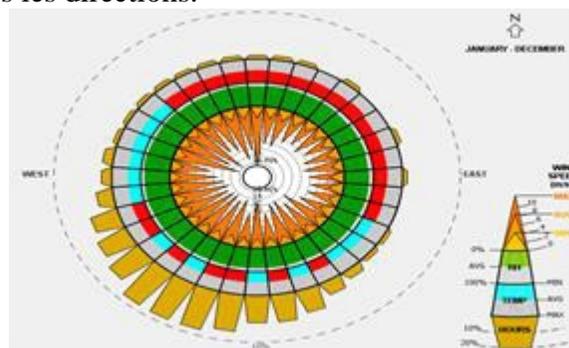
Sur notre rose des vents nous notons :

- En jaune, on remarque que la direction sud-ouest obtient les proportions horaires de vent annuelles les plus élevées.

- Pour ce qui concerne la température, nous remarquons des températures plus froides, en bleu, (de 21°C à 27°C) au Nord-Ouest et Sud-Est; alors qu'elles sont plus élevées; en rouge, (de 27°C à 38°C) pour le Nord et Nord-Est et beaucoup moins élevées (alternance de 21°C à 27°C et de 27°C à 38°C) pour le Sud et le Sud-Ouest.

- En vert, on a une humidité relative relativement similaire pour toutes les directions.

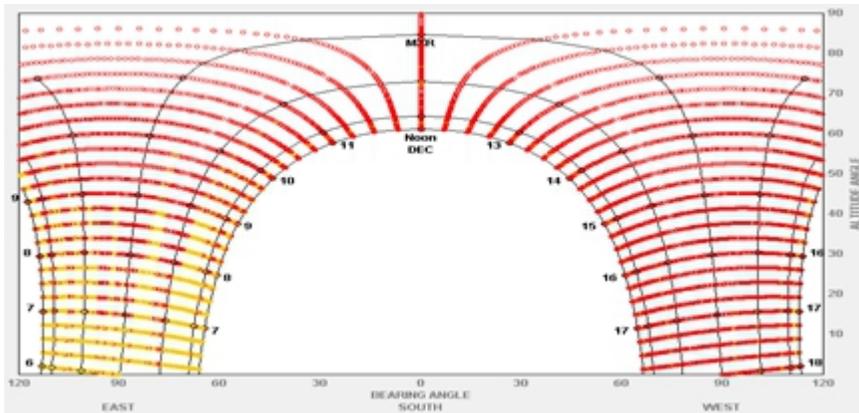
- En couleur orangé (pour les différents dégradés) nous avons l'intensité des vents; les directions Nord, Nord-Ouest, Ouest, Sud-Ouest et Sud ont les intensités de vents les plus élevées pouvant aller de 12 m/s à 16 m/s. Toutefois, la moyenne annuelle des intensités des vents est de l'ordre de 2m/s pour toutes les directions.



**Figure 2 :** Rose des vents annuelle (climat consultant)

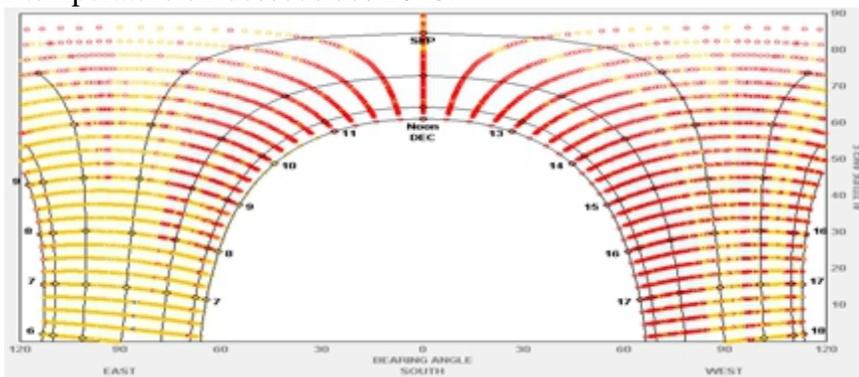
### **Orientation du bâtiment par rapport à l'ensoleillement**

Pour déterminer l'orientation optimale qui minimise les apports de chaleur dans le bâtiment, nous référons au diagramme solaire de la ville d'Abidjan (Figure 3). Ce diagramme solaire qui montre la trajectoire du soleil dans sa course toutes les 15 minutes pendant toute l'année. Les points jaunes indiquent les températures se situant dans la zone de confort définie entre 20°C et 27°C. Les points rouges indiquent les températures supérieures à 27°C.



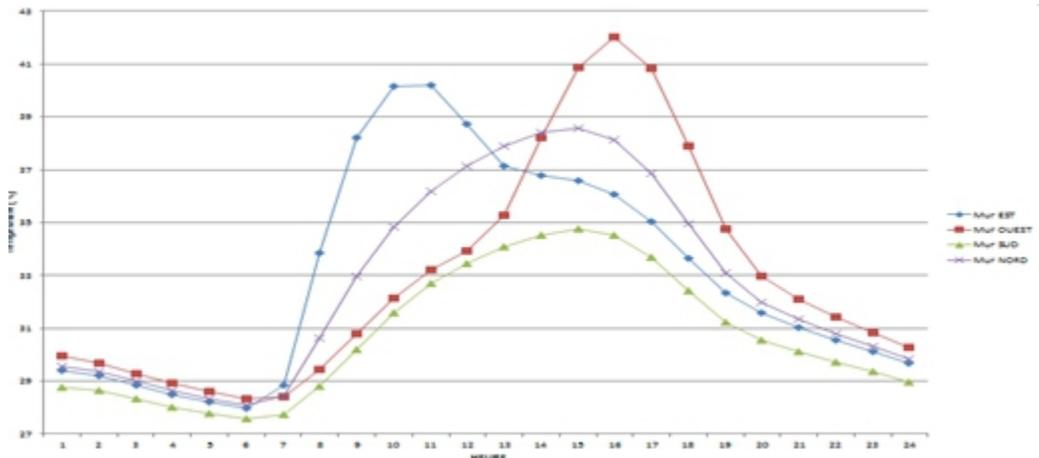
**Figure 3 :** diagramme solaire de la ville d'Abidjan pour l'équinoxe d'automne

A l'équinoxe d'automne nous enregistrons 1832 heures ensoleillées d'une température moyenne au-dessus des 27°C et 488 heures ensoleillées d'une température en-dessous des 20°C.



**Figure 4 :** diagramme solaire de la ville d'Abidjan pour l'équinoxe d'été

Nous remarquons que les faces Est et Ouest sont les plus ensoleillées tandis que les faces Nord et Sud sont très peu ensoleillées. Aussi, selon ce diagramme, la face est d'un bâtiment serait plus froide que sa face Ouest. Nous réalisons une simulation thermique dynamique pour évaluer l'impact du rayonnement sur les températures extérieures du bâtiment pour la période typique de la moyenne de température annuelle. La semaine du 7 au 13 Mai est indiquée comme semaine typique par notre fichier météorologique. Aussi, les températures journalières sur cette dernière période de moyenne 26,77°C ont un écart type de 0,03°C, ce qui nous autorise à sélectionner aléatoirement une journée pour la réalisation de notre étude. Nous réalisons ainsi notre étude pour la journée du 7 mai.



**Figure 5:** Évolution de températures des murs du bâtiment selon les faces du mur pour le 7 Mai

Nos observations précédentes sont confirmées par ces présents résultats présentés dans la figure précédente.

Aussi, on note une différence de température entre la face Nord et la face Sud allant jusqu'à 4°C à 14h 30. De plus, la face atteint à 10 h une température maximale de 40°C alors que la face ouest atteint 42°C à 15h 30.

En définitif, lorsqu'on tient compte de l'ensoleillement et de la ventilation, on se rend compte que les plus grandes surfaces du bâtiment doivent être orientés vers le sud. Sur la base des tables de Mahoney, Sako indique qu'en Côte d'Ivoire les bâtiments devraient avoir leurs façades principales orientées vers le Nord et le Sud et les murs plus courts pour faire face à l'axe Est-Ouest. (Sako et al., 2007). D'autres résultats montrent qu'en climat chaud et humide la seule exposition avantageuse, à la fois du point de vue de l'ensoleillement et de la ventilation, est la direction Sud (Molle *et al.*, 2013)(OLGAY *et al.*, 1963) et cela quelle que soit la latitude (ANDERSON et al., 1985); (AL-OBAIDI *et al.*, 2006); (PORRITT *et al.*, 2010); (KORANTENG *et al.*, 2010).

## Conclusion

Dans ce travail, nous avons réalisé une étude visant à optimiser l'orientation du bâtiment en tenant compte, d'abord, de l'ensoleillement puis de la direction des vents; enfin, nous avons combiné les solutions trouvées. Nous constatons que la direction Sud-Ouest est la direction privilégiée pour la ventilation, toutefois, en tenant compte de la course du soleil, on se rend compte que cette orientation favorise la pénétration rayonnement solaire dans le bâtiment. Finalement la direction Sud est la direction qui permet de maximiser la ventilation et de minimiser les apports solaires à travers les ouvertures du bâtiment. Par ailleurs, les déphasages de températures des

différents murs indiquent une nécessité d'organisation des pièces de notre bâtiment en fonction des périodes journalières de leur utilisation.

### References:

1. AL-OBAIDI M.A.A.H., WOODS, P. (2006). Investigations on effect of the orientation on thermal comfort in terraced housing in Malaysia, *International Journal of Low-Carbon Technologies*, Vol. 1, N° 2, pp. 167-176, 2006.
2. ANDERSON B., PLACE W., KAMMERUD R., SCOFIELD M.P. (1985). The impact of building orientation on residential heating and cooling, *Energy and Buildings*, Vol. 8, N°3, pp. 205-224, 1985.
3. ASHRAE. (2001). *Fundamentals*, Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc.
4. Assimakopoulou. (2004). Développement et évaluation des systèmes et stratégies de contrôle de régulation d'un vitrage électrochromique pour des applications de bâtiment, Doctorat en Génie Civil, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, Décembre 2004.
5. Barbara Simons, Koranteng Christian and Woanyah-Deladem Sandra. (2012). Thermal comfort evaluation of high-rise building in Accra, Ghana Pelgia Research Library. *Advances in Applied Science Research*, 2012, 3(1): 502-507 ISSN: 0976-8610 CODEN (USA): AASRFC.
6. CAMOUS, R. et WATSON, D. (1983). *L'habitat bioclimatique. L'Étincelle*.
7. COURGEY S., OLIVA J.P. (2006). *La conception bioclimatique -Des maisons économes et confortables en neuf et en réhabilitation*, Edition Terre vivante, 2006.
8. Feriadi H. (2002). 2002b. Natural ventilation via courtyard for tropical buildings. *Int Symposium Building Research and sustainability of the Build Environment in the tropics*, 14-16, Jakarta.
9. Givoni, B. (1998). *Climate Considerations in Building and Urban Design*, J. Wiley & sons, New York, 464 p.
10. Kharchi. R. (2013). Etude énergétique de chauffage, rafraîchissement et eau chaude sanitaire d'une maison type en Algérie, Thèse de Doctorat en Physique Énergétique et Matériaux, Université de Tlemcen.
11. KORANTENG C., ABAITEY E.G. (2010). The effects of form and orientation on energy performance of residential buildings in Ghana, *Journal of Science and Technology (Ghana)*, Vol. 30, N°1, pp. 71-81.
12. Meteororm 7. (2013.). *Global Meteorological Database*. Tech. rep... Genossenschaft METEOTEST.

13. MOLLE D., PATRY P.M. (2013). RT 2012 et RT existant- Réglementation thermique et efficacité énergétique, Edition Eyrolles, 2e édition 2013.
14. Nadia SAIFI. (2015). Contribution A La Conception Des Bâtiments A Faible Consommation D'énergie Dans Les Zones Arides, Thèse De Doctorat, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2015.
15. MAZRIA, E. (1978). The passive solar energy book. Rodale Press, Inc., Emmaus, PA, USA.
16. OLGAY V., OLGAY A.,. (1963). Design with climate, Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism, New Jersey, 1963.
17. Perez, R., I. Pierre, R. Seals, J. Michalsky, and R. Stewart. (1990). "Modeling daylight availability and irradiance components from direct and global irradiance." *Solar Energy* 44(5): 271–289. .
18. PORRITT S., SHAO L., CROPPER P.C., GOODIER C.I.,. (2010). Building orientation and occupancy patterns and their effect on interventions to reduce overheating in dwellings during heat waves, IESD PhD, Université Leicester: De Montfort, 2010.
19. MK Sako, Prosper GBAHA, Y N'Guessan, MK Kouadio. (2007). Bioclimatic design of the habitat in tropical climate: case of Cote d'Ivoire.
20. Sparrow, E. M., J. W. Ramsey, and E. A. Mass. (1979). Effect of Finite Width on Heat Transfer and Fluid Flow about an Inclined Rectangular Plate. *Journal of Heat Transfer*, Vol. 101, p. 204.
21. Walton, G. N. (1981). Passive Solar Extension of the Building Loads Analysis and System Thermodynamics (BLAST) Program, Technical Report, United States Army Construction Engineering Research Laboratory, Champaign, IL.