

L'impact des caractéristiques matérielles de la façade sur son comportement thermique : cas des bureaux dans un climat chaud et aride

Référence de l'article : Th3-040

Mohamed Amine KHADRAOUI ; Leïla SRITI

Université Mohamed Khider, BP 145 RP, Biskra, 07000, Algérie

m.khadraoui@univ-biskra.dz ; l.sriti@ univ-biskra.dz

Résumé : Afin d'améliorer les conditions de confort thermique des bâtiments tertiaires, une recherche a été engagée dans le but de développer une façade contextuellement appropriée et énergétiquement performante sous les conditions d'un climat chaud et aride. L'étude a pris comme point de départ l'analyse des conditions de confort d'un ensemble de bâtiments à usage de bureaux situés à Biskra- une ville du Sud Algérien. Ces bâtiments se distinguaient du point de vue du traitement de leurs façades. L'étude se propose d'évaluer le fonctionnement thermique des différentes façades puis d'optimiser leurs comportements en agissant sur leurs caractéristiques matérielles.

L'investigation est fondée sur une approche empirique (mesures prises in situ sur des cas réels) ainsi que sur une étude paramétrique par simulation. Les résultats démontrent que la façade représente par excellence le lieu d'interaction et d'échange entre l'intérieur et l'extérieur dont la performance relève de facteurs à la fois formels et matériels.

Mots clés : façade, caractéristiques matérielles, confort thermique, bureaux, simulation, climat chaud et aride.

1. Introduction

Le recours à l'énergie a toujours constitué un moyen fondamental pour l'homme afin d'améliorer son confort [1]. Simultanément, la recherche de la maîtrise des ambiances thermiques à l'intérieur de l'espace bâti, tout en minimisant la consommation énergétique, continue d'être considérée comme un défi. Ce dernier semble être de plus en plus difficile à relever, surtout avec les conditions climatiques et économiques actuelles où le bâtiment représente un secteur énergivore à outrance, responsable d'une consommation énergétique en augmentation croissante. Il reste que la maîtrise du confort thermique dans les bâtiments est importante, non seulement pour garantir la qualité des ambiances intérieures, mais aussi pour minimiser la quantité d'énergie indispensable au fonctionnement des équipements d'appoint [2].

A l'instar des autres pays, le secteur tertiaire est considéré en Algérie comme un secteur énergivore par excellence. En effet, il détient à lui seul un taux non négligeable de la consommation énergétique dont une grande quantité est utilisée principalement pour répondre aux besoins du confort thermique (chauffage et climatisation). Selon le rapport de l'APRUE en 2005, la consommation énergétique des bâtiments tertiaires et résidentiels en Algérie représente 41% de la consommation totale (Figure 1) [3]. Cette situation, loin d'être une fatalité, est le résultat d'un dysfonctionnement au niveau de la pratique architecturale où s'opèrent des choix irrationnels indifférents au contexte et négligeant les spécificités climatiques lors de la conception.

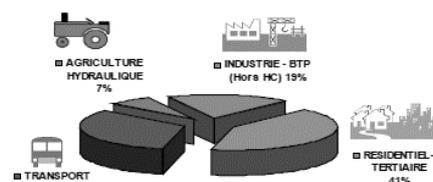


Figure 1 : Consommation énergétique finale de l'Algérie par secteur (Source : APRUE, 2005)

Le comportement thermique d'un bâtiment est complexe et dépend des sollicitations auxquelles il est soumis, notamment, la température de l'air extérieur. Le choix judicieux des matériaux de construction participe à la réduction des températures de l'air ambiant à l'intérieur des locaux [4]. L'architecture doit ainsi viser à intégrer les données climatiques du site, pour réduire la consommation d'énergie due au chauffage et à la climatisation [5].

Plusieurs recherches se sont inscrites dans une démarche visant à optimiser le fonctionnement thermique de l'enveloppe architecturale d'une manière passive en agissant sur les parois verticales, autrement dit, les murs de façade. La façade représente, en effet, une membrane séparative et d'interaction entre l'espace intérieur et les conditions climatiques à l'extérieur et sa performance doit être identique à celle du bâtiment. Dans cette recherche, on tentera de déterminer l'impact des caractéristiques matérielles de la façade sur l'ambiance intérieure à travers des prises de mesures in situ ainsi que par simulation paramétrique. La simulation permettra également de tester les solutions d'optimisation proposées.

2. L'étude empirique

2.1. Présentation du corpus d'étude

Cette recherche a été menée sur des bâtiments tertiaires et plus précisément des immeubles de bureaux se distinguant par la nature de leur enveloppe. Le contexte d'étude est celui de la ville de Biskra située dans le Sud de l'Algérie et caractérisée par un climat chaud et aride. Les bâtiments étudiés représentent les typologies de façades les plus récurrentes dans la ville de Biskra (Figure 2).



B1-Groupe Amouri



B2-L'agence foncière



B3-Radio ZIBAN



B4-Siège de l'actel

Figure 2 : Photos des bâtiments étudiés (Source : auteur, 2016)

Le tableau N°1 illustre la composition des façades dans chaque cas.

Tableau 1 : La composition des façades des cas d'étude

Cas d'étude	La composition de la façade de l'extérieur à l'intérieur	Epaisseur (cm)
B1	Façade ventilée (FV) en terre cuite de 1,6 cm- cavité d'air- enduit de ciment 2cm- brique creuse de 15cm- lame d'air de 5 cm- brique creuse de 10 cm- enduit de plâtre 2cm	40
B2	Mur rideau avec un vitrage simple	1
B3	Enduit de ciment 2,5cm- brique de terre de 45cm- enduit de plâtre 2,5cm	50
B4	Façade double peau (FDP) en acier- cavité d'air- enduit de ciment 2cm- brique creuse de 15cm- lame d'air de 5 cm- brique creuse de 10 cm- enduit de plâtre 2cm	70

Bâtiment B1 : groupe administratif avec une façade ventilée, le B2 est une administration avec une façade en mur rideau. Le B3 est une bâtisse datant de l'époque coloniale avec un mur porteur en terre cuite et le B4 est une construction relativement récente avec une façade double-peau en acier.

2.2. Protocole de la prise des mesures

Des mesures bi-horaires ont été faites dans des conditions naturelles pendant la période hivernale (Décembre 2016). Les températures mesurées sont la température intérieure ambiante (T_a), la température superficielle interne (T_{si}) et la température à l'extérieur (T_{ext}). Les instruments utilisés sont un thermomètre Testo 480 et un thermomètre infrarouge (Figure 3).



Figure 3 : Les instruments utilisés pour la prise des mesures (Source : auteur, 2016)

2.3. Interprétation des résultats

Les prises de mesures ont été effectuées pendant la période hivernale (le 13 et le 14 Décembre 2016) après la détermination de la semaine la plus froide « *design week* » relativement à la T_{ext} moyenne couvrant une période de 15 ans (entre 2000 et 2015).

Le graphe (a) (Figure 4) illustre les résultats obtenus pour les bâtiments B1 et B3. Il révèle que la température intérieure est presque stable durant toute la journée avec une amplitude maximale de 5°C à 8h. La composition des façades pour B1 et B3 s'oppose aux fluctuations de températures et assure une température intérieure variant entre $18,3^{\circ}\text{C}$ et $20,3^{\circ}\text{C}$ pendant la période du travail. On constate également que ces températures sont assez confortables par rapport à la température extérieure qui atteint un minimum de $13,3^{\circ}\text{C}$ à 8h. Pour ce qui est du graphe (b) (Figure 4) qui résume les résultats obtenus pour les bâtiments B2 et B4, on remarque que la température à l'intérieur des locaux est moins stable en comparaison avec B1 et B3. Les façades de B2 et B4 du fait de leurs grandes surfaces vitrées s'opposent à une diminution excessive de la température mais seulement après un temps d'exposition aux rayonnements solaires qui génèrent plus de chaleur à l'intérieur et permettent aux parois verticales de se comporter comme une serre. On remarque que la température à 10 h est de l'ordre de 20°C ; elle culmine à 16h ° dans B4 et atteint $22,4^{\circ}\text{C}$ ce qui est considérée comme une température gênante (d'après un constat personnel et l'avis des usagers).

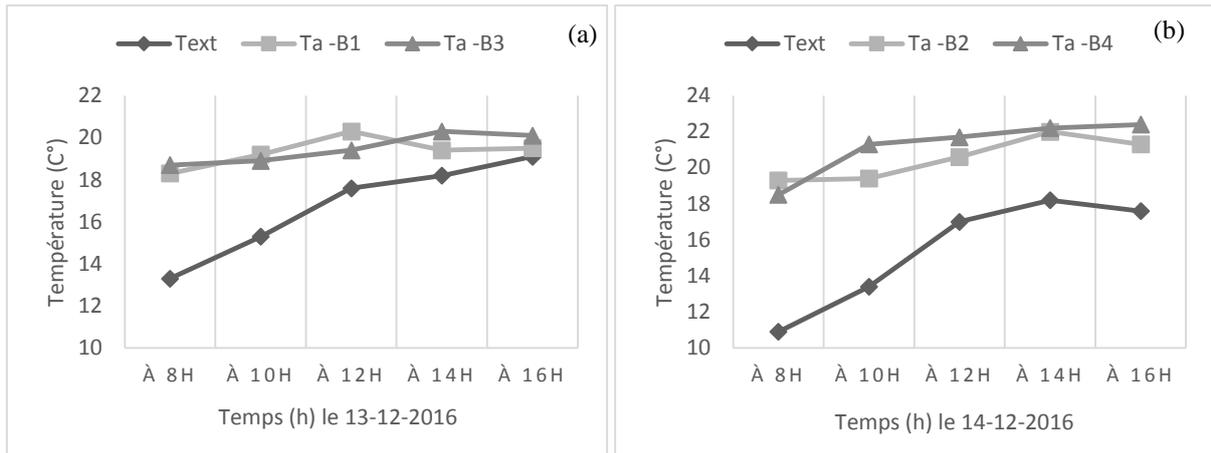


Figure 4 : Graphes des températures (Ta) et (Text) dans les cas d'étude (Source : auteur, 2016)

Globalement, on peut dire que le meilleur comportement thermique est celui du bâtiment B3 qui assure une température stable du fait de la composition matérielle de la façade (paroi avec un matériau lourd à grande inertie thermique). La façade ventilée (FV) du bâtiment B1 présente aussi un fonctionnement thermique intéressant alors que les cas les plus défavorables sont respectivement B2 et B4.

La figure 5 illustre les mesures enregistrées pour la température à l'extérieur (Text) et la température superficielle interne (Tsi). On constate que pour B3 et B1, (Tsi) est plus stable contrairement à B2 et B4 où il y a une augmentation importante de la température. Ceci est dû aux caractéristiques physiques des matériaux composants les façades qui sont visiblement climatiquement inadaptés ; dans B2 le vitrage simple et dans B4 la double peau en acier.

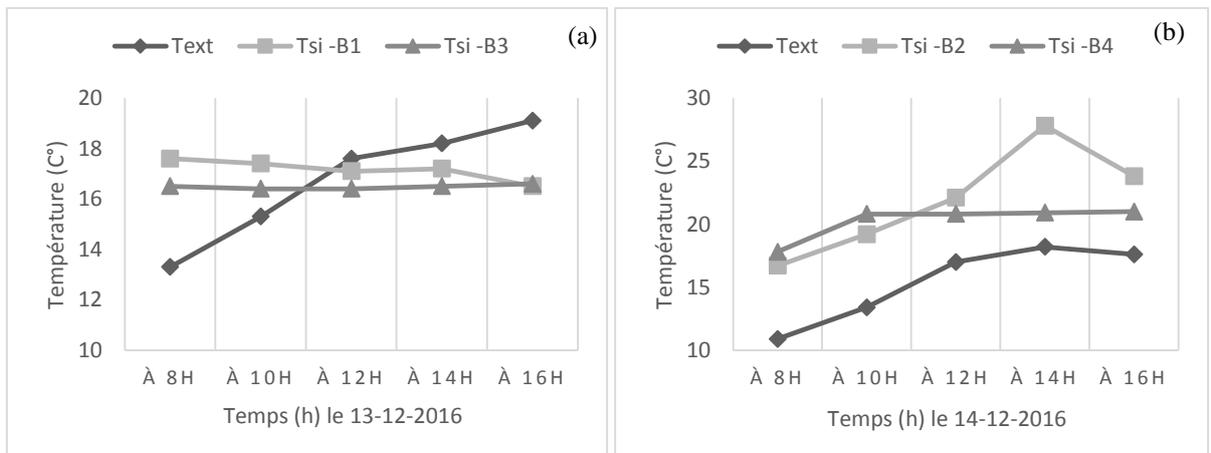


Figure 5 : Graphes des températures superficielle interne (Tsi) et extérieure (Text) (Source : auteur, 2016)

Ainsi, les matériaux utilisés dans le bâtiment B3 ont un impact sur la stabilité de la température superficielle, suivie par la façade ventilée (FV) du Bâtiment B1. Par contre, la façade vitrée de B2 et la FDP en acier de B4 influent négativement sur leur comportement thermique à travers une augmentation de (Tsi). Celle-ci, à son tour, influence directement sur la température de confort -température opérative (To)- ressentie par les individus comme le démontre la formule (1).

$$T_{Confort} = \frac{T_{Air} + T_{Parois}}{2} \quad (1)$$

3. Modélisation et simulation du comportement thermique de la façade

La simulation permet d'évaluer le comportement thermique de la façade pendant toute l'année avec la possibilité de faire des corrections et donc des améliorations paramétriques par éléments.

3.1. Présentation du logiciel et du protocole de simulation

Les logiciels utilisés sont : Enegyplus V8-4-0, Open Studio V1-9-0 et Sketchup 2015 (figure 6).

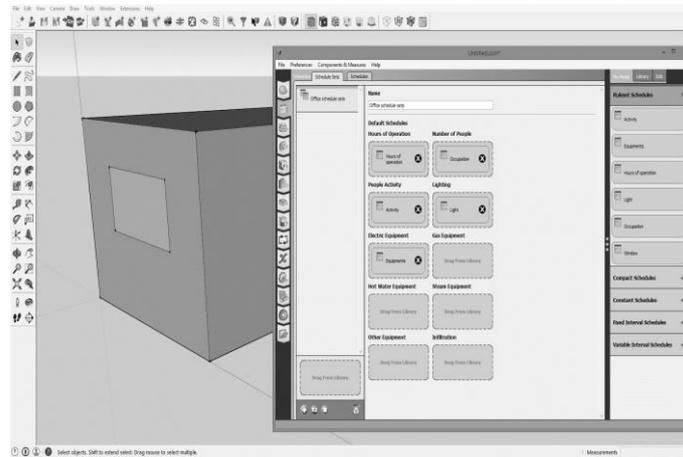


Figure 6 : Le modèle simulé et la plateforme Open Studio-Enegyplus (Source : auteur, 2016)

Le logiciel « EnegyPlus » est utilisé comme moteur de calcul. Le modèle 3D a été modélisé sur Sketchup (interface graphique) et la plateforme « Open Studio » est utilisée pour lier Sketchup à EnergyPlus. Nous avons élaboré notre propre bibliothèque de matériaux de construction et les scénarios de l'utilisation de l'espace tout en utilisant le fichier climatique de la ville de Biskra sous format « epw ».

3.2. Interprétation des résultats

La figure 7 présente les résultats de la température opérative (T_o) simulée pendant une année, qu'il est possible de diviser en deux périodes hivernale et estivale. Pendant la période hivernale, T_o se situe dans l'intervalle de 8 à 10 C° et ce, de minuit jusqu'à 9 h et de 20 h à minuit. Pendant la journée, la température T_o varie entre 10 et 15 C° du fait du rayonnement solaire qui augmente la température. Pendant la période estivale T_o est plus élevée durant toute la journée avec une température maximale pouvant dépasser 40 C° durant le mois de Juillet à 15h, ce qui se répercute directement sur la sensation de confort des employés et leur rendement.

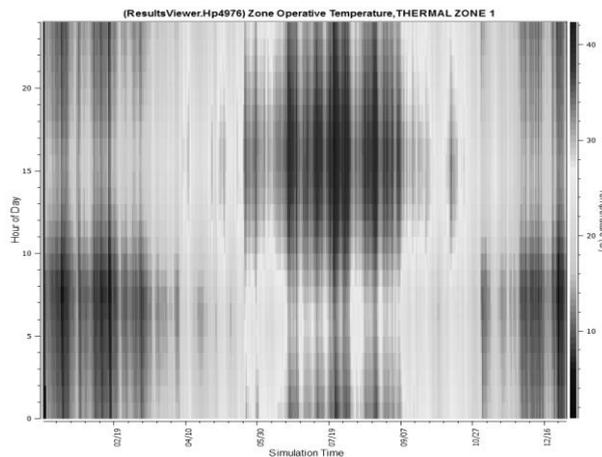


Figure 7 : La température opérative simulée pendant une année (Source : auteur, 2016)

Les graphes des résultats de la simulation d'une année sont présentés dans la figure 8. Ainsi, le graphe (a) montre que la température du confort (T_o) est inférieure à la température extérieure (T_{ext}) pendant toute l'année, à l'exception de certains moments en hiver où les courbes des deux températures sont presque superposées à cause de la faible inertie thermique. Le graphe (b) qui présente les températures superficielles internes (T_{si}) et externes (T_{se}), indique que T_{si} est toujours inférieure à T_{se} surtout dans les points de pic de chaleur.

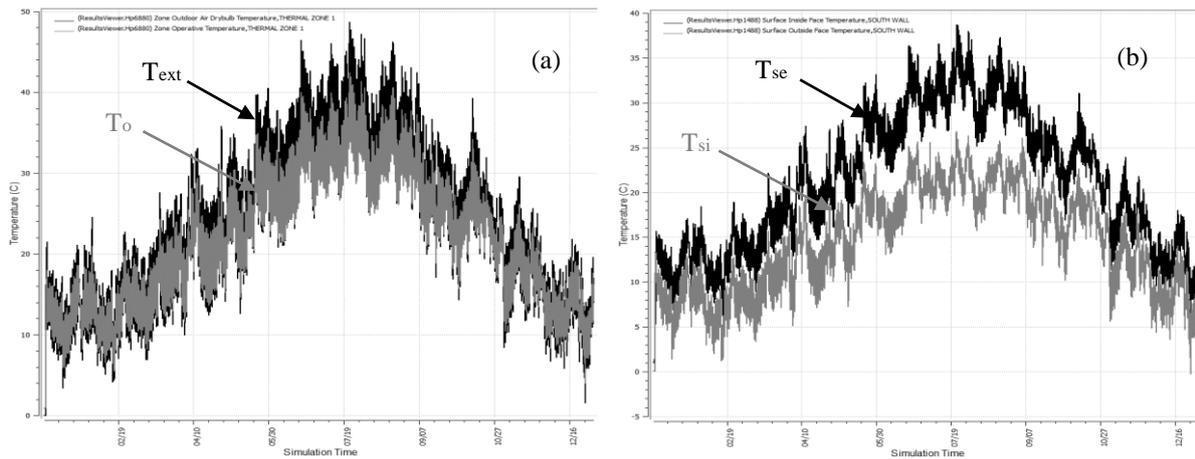


Figure 8 : La température simulée pendant une année (a) T_o et (b) T_s ; cas du modèle de référence (Source : auteur, 2016)

Cependant, cette diminution de la température, qui dépend principalement des caractéristiques matérielles de la façade, reste insuffisante surtout en été. Durant la période estivale, on remarque, en effet, que T_o est élevée par rapport à la plage du confort thermique. Ce comportement thermique s'explique par la mauvaise maîtrise des matériaux de construction et des choix inappropriés à ce niveau. Les caractéristiques physiques des matériaux utilisés dans la construction des façades ont un impact primordial sur les conditions thermiques résultantes. Dans des conditions climatiques chaudes et arides, l'inertie thermique en particulier joue un rôle important pour assurer l'équilibre hygrothermique. En été, elle permet d'atténuer les fluctuations thermiques et les températures extrêmes. En hiver, elle évite les chutes trop brutales de la température et met bien en évidence la gestion optimale des apports de chaleur [6].

4. L'étude paramétrique : impact des éléments de la façade sur son comportement thermique

Le transfert de la chaleur dans la façade est influencé par sa consistance matérielle globale. Dans cette dernière partie, il s'agit d'évaluer l'impact de certaines caractéristiques et éléments de la façade sur son comportement thermique afin de déterminer les paramètres les plus influents. L'objectif final est de développer une façade performante qui puisse répondre de façon optimale aux exigences de confort d'un bâtiment tertiaire dans un climat chaud et aride tout en minimisant la consommation énergétique.

4.1. L'impact du ratio d'ouverture

Dans cette série de simulation, la surface vitrée du modèle initial (témoin) est augmentée de 15% à 75% (mur rideau avec vitrage simple), les résultats sont présentés dans la figure 9. Le graphe (a) indique une augmentation de T_o , les courbes de la température T_o se rapprochent de celles de T_{ext} du fait de l'absence de l'inertie thermique. Dans ce cas T_{ext} se confond presque avec T_o ; le rôle de la façade en tant que membrane protectrice n'est plus assuré. Le graphe (b) présente aussi une augmentation de la température superficielle.

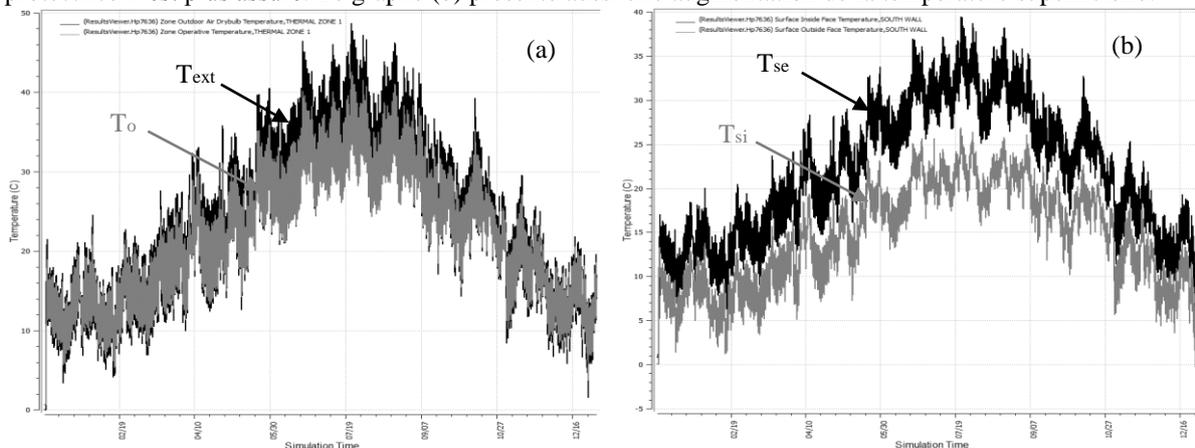


Figure 9 : La température simulée pendant une année (a) T_a et (b) T_s ; augmentation de la surface vitrée (Source : auteur, 2016)

4.2. L'impact des protections solaires

Dans ce cas, une protection solaire est ajoutée au modèle de référence (témoin), les résultats sont illustrés dans la figure 10. Le graphe (a) démontre que les valeurs de T_o sont légèrement atténuées par rapport au modèle primaire. L'impact de la protection solaire s'explique par la réduction de la surface exposée et donc la diminution des apports solaires. Concernant la température superficielle, le graphe (b) révèle qu'il y a une nette réduction pour T_{si} surtout durant la période de surchauffe.

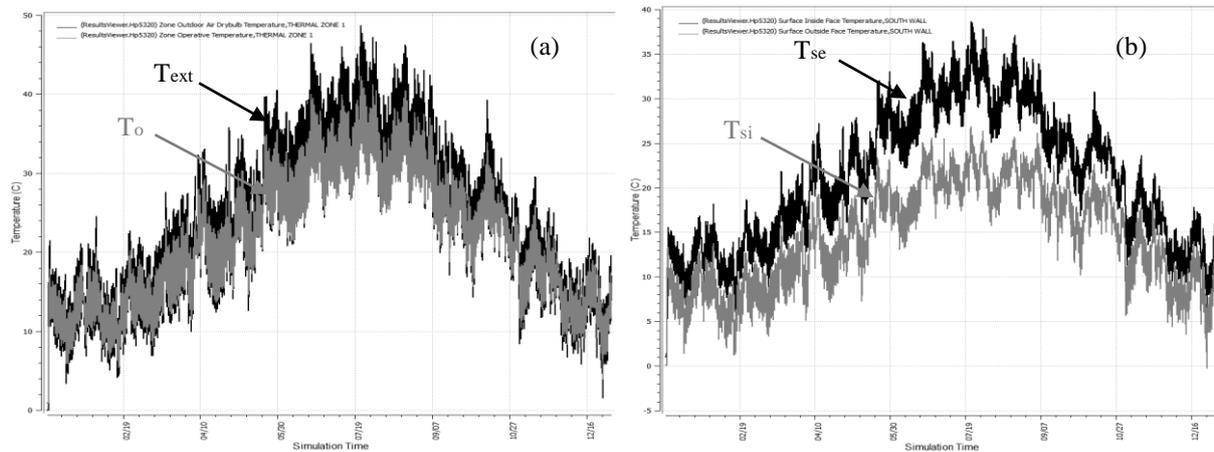


Figure 10 : La température simulée pendant une année (a) T_a et (b) T_s ; utilisation des protections solaires (Source : auteur, 2016)

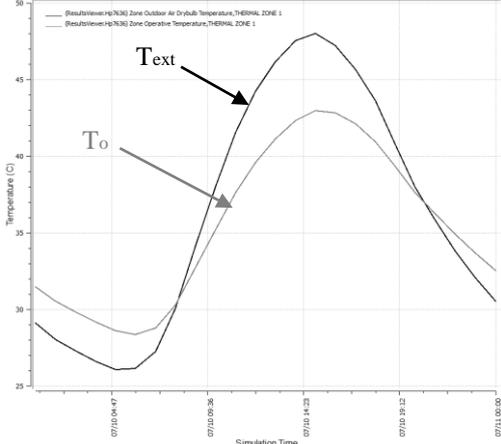
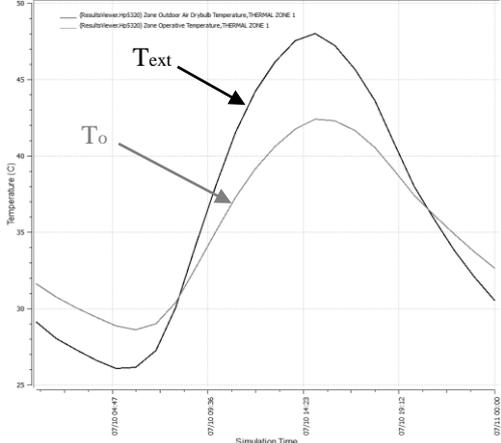
4.3. Comparaison entre l'impact des protections solaires et du ratio d'ouverture sur la température opérative

Pour comparer entre l'influence des deux paramètres étudiés, une simulation pendant une journée représentative de la période estivale durant le mois de Juillet, a été réalisée. Le tableau 2 résume les résultats obtenus.

Tableau 2 : Comparaison entre l'effet des protections solaires et du ratio d'ouverture sur T_o

Paramètre étudié	Résultats de la simulation	Interprétations
Mur simple (témoin)		<p>La température du confort T_o est inférieure à la T_{ext} pendant toute la journée de 8h à 20 h.</p> <p>De 20 h à 7 h la température du confort T_o est supérieure à T_{ext} à cause de l'impact de l'inertie thermique.</p>

Tableau 2 (suite) : Comparaison entre l'effet des protections solaires et du ratio d'ouverture sur T_o

Paramètre étudié	Résultats de la simulation	Interprétations
Mur rideau		<p>Après l'augmentation de la surface vitrée, on remarque une augmentation de la température opérative vu l'utilisation d'un vitrage simple sans isolant ou protection.</p>
Protection solaire		<p>L'intégration d'une protection solaire horizontale à l'extérieur permet de diminuer la température du confort T_o mais d'une manière légère par rapport au modèle témoin selon les conditions de la simulation.</p>

Conclusion

Cet article présente les principaux résultats obtenus à l'issue d'une étude fondée sur une investigation empirique (mesures prises in situ dans des bâtiments existants) ainsi que sur une analyse paramétrique par simulation. L'objectif de l'investigation est d'évaluer l'impact des aspects matériels de la façade sur le confort thermique des espaces de bureaux dans un climat chaud et aride.

Le premier volet de l'étude basé sur les prises de mesures a confirmé l'importance de la maîtrise des caractéristiques physiques des matériaux de construction utilisés au niveau de la façade. L'importance de l'inertie thermique pour un climat chaud et aride et son impact sur le confort thermique a été mise en exergue. Le choix des matériaux de construction reste déterminant dans le comportement thermique de la façade.

Le deuxième volet de l'étude a été réalisé moyennant une simulation avec le logiciel « EnergyPlus » en utilisant Open Studio comme plateforme. Une analyse paramétrique a été effectuée et deux facteurs prépondérants du comportement thermique de la façade ont été étudiés : le ratio d'ouverture et les protections solaires. Les résultats démontrent que l'augmentation du ratio de surface vitrée influe négativement sur le confort thermique, particulièrement dans le cas d'un simple vitrage sans protection solaire. Selon les conditions de la simulation, l'influence des protections solaires sur le confort thermique s'est avérée limitée.

Les résultats de cette recherche ouvrent plusieurs axes d'investigation future. Des possibilités d'étude et d'optimisations, notamment celles relatives à l'impact de la géométrie de la façade sur le confort thermique et l'efficacité énergétique, sont à explorer.

Nomenclature

Symbole	Nom, unité	Exposant, Indices
T	température, C°	Int Intérieur
Ta	température ambiante, C°	Ext Extérieur
Tsi	température superficielle interne, C°	FV Façade ventilée
Tse	température superficielle externe, C°	FDP Façade double peau
To	température opérative, C°	

Références

- [1] S. Seoud, Audit énergétique de bâtiments tertiaires, *Mémoire de magister*, EPAU, Page 16-27, 2012.
- [2] R. Catin et G. Guarracino, Complexité du confort thermique dans les bâtiments, *VI^{ème} congrès Européen de Science des Systèmes*, Page 02, 2005.
- [3] Rapport de la consommation énergétique finale de l'Algérie, *Ministère de l'Energie et des Mines-Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie*, Tiré de : www.aprue.org.dz, 2005.
- [4] A. Mokhtari, Architecture et confort thermique dans les zones arides-Application au cas de la ville de Béchar, *Revue des Energies Renouvelables*, Vol. 11 N°2, Pages 307-315, 2008.
- [5] M.N. Benhouhou, L'impact des matériaux sur le confort thermique dans les zones semi-arides, *Mémoire de magister*, EPAU, Page 11-13, 2012.
- [6] D. Medjelakh et S. Abdou, Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment, *Revue des Energies Renouvelables*, Vol. 11 N°3, Pages 229-341, 2008.

25-27 Octobre 2017
Monastir - Tunisie