

IMPACT OF FACADE CONFIGURATION ON ENERGY CONSUMPTION OF SCHOOL BUILDINGS IN CONSTANTINE (ALGERIA)

S. Benharkat

Laboratoire ABE, Département d'architecture, Université Salah Boubnider Constantine 3,
Algérie

Received: 16 November 2018 / Accepted: 21 July 2019 / Published online: 01 September 2019

ABSTRACT

In Algerian school buildings, heating and artificial lighting energy consumption counts for the important proportion of spending. Façade configuration is one of the major reasons because it affects the heating, cooling and lighting energy consumption of building. So, it is necessary to study the energy saving optimal design of transparent envelope for classrooms.

In this paper, the impact of some parameters of transparent envelope on overall energy consumption (heating, cooling and lighting) are investigated using the two computer simulation softwares Ecotect analysis 2011 and Daysim 3.0. These parameters are: the orientation, the window to floor ratio, the heat transfer coefficient U and luminous transmittance LT of glazing materials. The results show a complex interdependence among these design variables.

Keywords: Window to floor ratio, glazing material, orientation, overall energy consumption, school buildings.

Author Correspondence, e-mail: sarah.benharkat@univ-constantine3.dz

doi: <http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v11i3.4>



1. INTRODUCTION

Selon l'Agence nationale pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie (APRUE), la consommation d'énergie en Algérie a atteint les 58 millions tep en 2015 pour une population de 40 millions d'habitants, soit 1,45 tep par habitant et par an. Le secteur du bâtiment est le secteur le plus énergivore avec plus de 41% de la consommation totale [1].

Cette croissance continue de la demande interne d'énergie, les risques d'épuisement des ressources fossiles ainsi que le réchauffement climatique, ont poussé le pays à engager sa transition énergétique vers un modèle plus durable. De ce fait, le gouvernement a mis en place, parallèlement au programme ambitieux des énergies renouvelables, un Plan National d'Efficacité Énergétique (PNEE). Les actions phares de ce programme portent principalement sur l'isolation thermique des bâtiments (existants et neufs); la promotion du chauffe-eau solaire et de la climatisation solaire ainsi qu'une meilleure performance des équipements de l'éclairage [2].

De leur côté, les architectes sont incités à revoir leur manière de concevoir et accorder une attention particulière à la conception des façades des bâtiments qui sont de plus en plus vitrées ; ce qui les rend de moins en moins confortables et par conséquent plus énergivores.

Il faut savoir que, selon la norme EN 15603 [3], la configuration de la façade affecte directement la demande annuelle en énergie d'un bâtiment en terme de besoins pour le chauffage, le conditionnement et l'éclairage. La paroi vitrée plus particulièrement est l'élément régulateur à la fois du confort thermique et du confort lumineux.

A l'échelle internationale, plusieurs chercheurs ont étudié l'impact de cette dernière sur la consommation énergétique pour différents types de bâtiments : immeubles de bureaux [4,5], bâtiments scolaires [6,7], bâtiments résidentiels [8] ; et sous différents types de climats. L'orientation, l'indice de vitrage, le type de vitrage et la géométrie des ouvertures sont les principales caractéristiques investiguées. A l'échelle nationale, nous soulignons qu'aucune étude n'a été entreprise dans ce sens.

2. OUTILS ET METHODOLOGIE

Une étude paramétrique a été entreprise sur un bâtiment scolaire de base situé à Constantine.

2.1 Contexte climatique

Constantine, ville du Nord-est de l'Algérie (latitude 36°16 N, 6°6 Est) est caractérisée par un climat semi-aride: un hiver froid et humide et un été chaud et sec. Janvier est le mois le plus froid avec une température moyenne de 7.15°C, juillet est le mois le plus chaud avec une température moyenne égale à 26.6°C.

Pour les besoins de la simulation, un fichier météo de la ville de Constantine (Constantine.wea) a été généré par le logiciel Météonorm V7.1.3.19872. Pour ce qui est du climat lumineux de la région, Constantine est caractérisée par un éclairage lumineux moyen de 35 KLUX et un ciel dominant semi couvert [9].

2.2 Outils de simulation

-Ecotect Analysis 2011

Développé par Andrew Marsh en 1996, le logiciel Ecotect Analysis 2011 rassemble une interface intuitive de modélisation 3D avec des fonctions d'analyse solaire, thermique, visuel, acoustique et de coûts. Pour le calcul thermique, le logiciel est basé sur la méthode de l'admittance développée par CIBSE [10] qui englobe les effets des flux de chaleur par conduction à travers l'enveloppe de la construction, l'infiltration et la ventilation à travers les ouvertures, les gains solaires directs par le biais des matériaux transparents, les gains solaires indirects par les éléments opaques, les gains de chaleur internes des équipements, des appareils d'éclairage et des personnes et les effets des flux de chaleur interzonaux.

Cet outil permet l'exportation du modèle 3D vers d'autres logiciels de simulation notamment le logiciel de simulation d'éclairage Daysim 3.0 que nous utiliserons pour évaluer les besoins en éclairage.

-Daysim 3.0

Le logiciel Daysim a été développé par the National Research Council Canada et The Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems en Allemagne. C'est un outil de simulation dynamique de l'éclairage naturel basé sur l'algorithme du logiciel Radiance, sur la méthode du coefficient d'éclairage naturel DC développée par Tregenza en 1983 et le ciel de Perez. Il calcule le profil annuel des éclairagements et des luminances sous les différents types de ciel apparents à travers l'année à partir du fichier météo de la région [11].

2.3 Modèle de simulation

Le modèle créé par le 3D Editor du logiciel Ecotect Analysis 2011 est un bâtiment monozone composé d'une salle de classe d'une surface de 84 m² et un volume de 309 m³.

Le modèle de base (figure 1) est caractérisé par un indice de vitrage (surface vitrée/surface plancher) égal à 20%, équipé d'un vitrage simple Stopsol bronze de 4mm (Voir tableau 2).

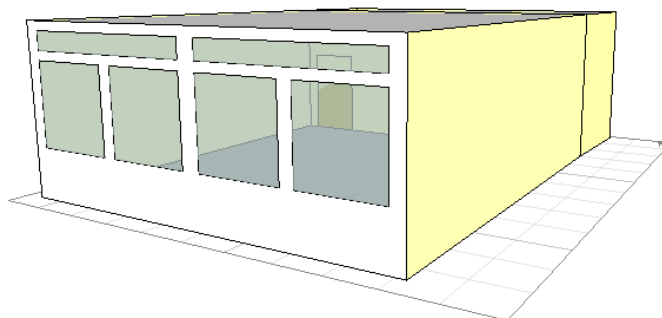


Fig.1. Modele de base de la simulation

Les caractéristiques thermo physiques des différents éléments du modèle sont les suivantes :

- Mur extérieur : double parois en brique creuse avec lame d'air (30cm) $U=1.09 \text{ w/m}^2\text{K}$
- Mur intérieur en brique creuse 10cm, $U=1.85 \text{ w/m}^2\text{K}$
- Plateforme en béton armé 12cm, $U=3.77 \text{ w/m}^2\text{K}$
- Plancher intermédiaire en corps creux 20cm, $U=1.87 \text{ w/m}^2\text{K}$
- Toiture terrasse en corps creux + étanchéité, $U= 0.616 \text{ w/m}^2\text{K}$

Les gains internes des salles de cours ont été estimés pour les occupants et les appareils d'éclairage électrique : le taux d'occupation est de 30 personnes exerçant une activité sédentaire (70 w par personne). Pour ce qui est de l'éclairage électrique, les tubes fluorescents dégage 7w/m² [12].

-Taux de renouvellement d'air : 2.0 air change.

-Infiltration : 0.25 air change.

Pour le calcul des charges de chauffage et de climatisation, la température de consigne a été fixée à 20°C pour l'hiver et à 26°C pour l'été.

Pour le calcul des besoins annuels d'éclairage, l'éclairement lumineux de consigne est de 500

lux, selon les recommandations de la Société internationale de l'éclairage [13].

La période de calcul s'étend du mois de septembre au mois de juin (selon le calendrier scolaire algérien). Quant aux horaires d'occupation, ils ont été fixés de 8h à 16h.

2.4 Scenarios

Dans cette étude, trois variables sont étudiées : l'orientation, l'indice de vitrage I_v et le type de vitrage (voir tableau 1). Le tableau 2 présente les caractéristiques thermo physiques des différents types de vitrages utilisés lors de la simulation : la transmission thermique U , le facteur solaire F_s et la transmission lumineuse TL .

Tableau 1. Variables investiguées

Variable	valeur
Orientation	Nord Sud Est Ouest
Indice de vitrage	20% 16% 12% 10%
Type de vitrage	Simple Stopsol bronze Simple Planibel vert Planibel Top N (low e)

Tableau 2. Caractéristiques thermo physiques des différents types de vitrage

Type de vitrage	U w/m ² K	F_s	TL
Vitrage simple Stopsol bronze	5.77	0.55	0.22
Vitrage simple Planibel vert	5.88	0.58	0.73
Vitrage Low-e Planibel Top N	1.3	0.60	0.78

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1- Cas de référence

3.1.1-La demande en énergie pour le chauffage et la climatisation

La figure 2 indique la demande mensuelle en énergie pour le chauffage et la climatisation pour la salle de classe selon les différentes orientations. Durant la période de chauffage (de novembre à avril), la demande en énergie pour la salle de classe orientée Nord est la plus importante particulièrement au mois de décembre, janvier et février avec plus de 800 kwh en janvier, suivie de la classe orientée Ouest, Est et enfin Sud qui affiche la demande minimale avec 553 Kwh en janvier.

Pour les besoins en climatisation, la salle Ouest (629 Kwh en juin), Est (622 Kwh en juin) et Sud (614 Kwh en juin) ont une demande en énergie plus importante que la salle Nord.

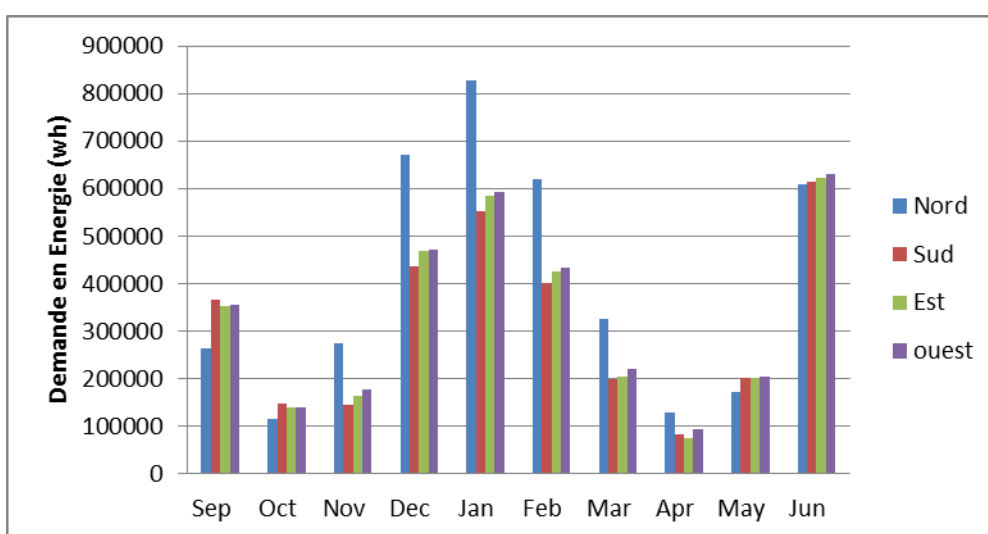


Fig.2. Demande en énergie mensuelle pour le chauffage et la climatisation de la salle de classe de différentes orientations (cas de référence)

Quant à la figure 3, elle montre la demande annuelle en énergie pour le chauffage et la climatisation de la salle de classe pour le cas de référence ($I_v=20\%$) : La salle Nord affiche la demande en énergie la plus importante avec 4043 Kwh/an et c'est les besoins en chauffage qui dominent car les pertes par ventilation et par conduction sont importantes à cause de l'indice de vitrage important et de la faible résistance thermique du vitrage ($U=5.88 \text{ w/m}^2\text{K}$). La salle orientée Sud consomme 22% de moins que la salle orientée Nord avec 3147 Kwh/an, car elle reçoit la maximum d'irradiation solaire en hiver (voir figure 4).

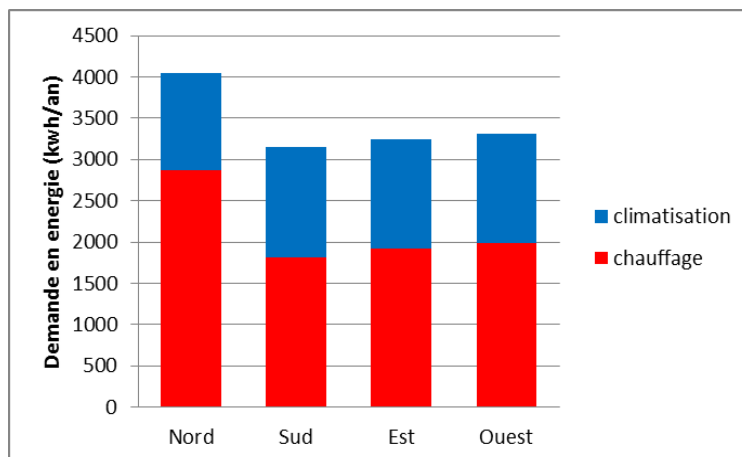


Fig.3. Demande en énergie annuelle pour le chauffage et la climatisation de la salle de classe pour différentes orientations (cas de référence)

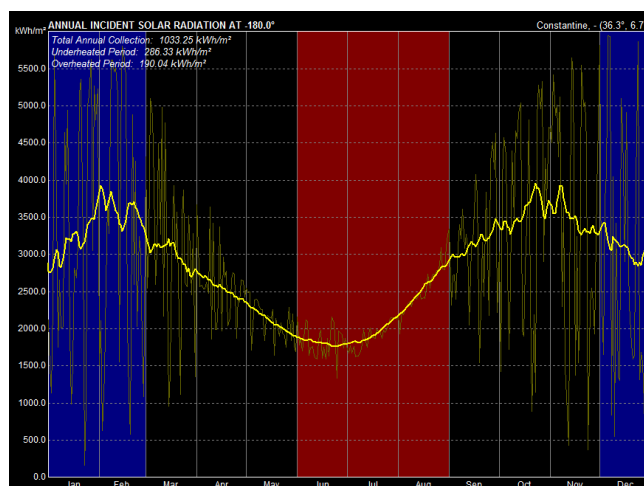


Fig.4. Radiation solaire incidente mensuelle pour une paroi orientée Sud à Constantine (Weather Tool, 2011)

3.1.2-La consommation énergétique annuelle de l'éclairage

L'éclairage artificiel représente une part très importante des consommations totales d'un bâtiment tertiaire. Celle-ci peut dépasser les 50% lorsqu' aucune gestion rationnelle n'est mise en place [14]. Dans notre étude, la consommation d'éclairage représente en moyenne 42% de la consommation globale du bâtiment scolaire (cas de référence) qui n'intègre aucun système de gestion.

La figure 5 montre la consommation énergétique annuelle pour l'éclairage de la salle de classe pour différentes orientations estimée par le logiciel Daysim 3.0.

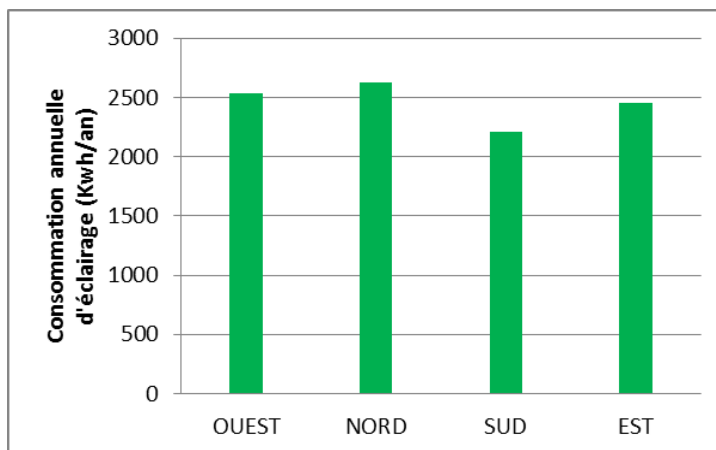


Fig.5. Consommation énergétique annuelle d'éclairage pour la salle de classe selon les différentes orientations (cas de référence)

Il ressort que l'impact de l'orientation sur la consommation d'éclairage est significatif. Ainsi, la consommation annuelle en éclairage est maximale pour l'orientation Nord (2663 Kwh/an), suivie dans l'ordre par l'orientation Ouest (2538 Kwh/an), Est (2451 Kwh/an) et enfin Sud (2269 Kwh/an). La classe orientée Sud consomme 15% de moins que la salle Nord.

Ces résultats ressemblent à ceux de Bodart [14] qui a trouvé qu'en Belgique, les bureaux d'orientation Nord consomment toujours plus. Viennent ensuite, dans l'ordre, les bureaux d'orientation Est, Ouest et Sud. Elle souligne que la différence entre l'orientation Est et l'orientation Ouest vient du fait qu'en Belgique le ciel est moins souvent couvert l'après-midi que le matin et que la probabilité d'ensoleillement sur l'année est de 30% plus importante l'après-midi que le matin. Il se trouve que pour le cas de Constantine, la situation est inverse : le ciel est plus couvert l'après-midi que durant la matinée.

3.1.3-La demande en énergie globale

La figure 6 indique la demande en énergie globale annuelle pour la salle de classe selon les différentes orientations, estimée par les logiciels Ecotect analysis 2011 et Daysim 3.0.

La salle orientée Nord enregistre la demande en énergie maximale avec 6706 Kwh/an, suivie de la salle Ouest 5854 Kwh/an, Est 5689 Kwh/an et enfin Sud 5416 Kwh/an. La salle Sud consomme 20% de moins que la salle Nord.

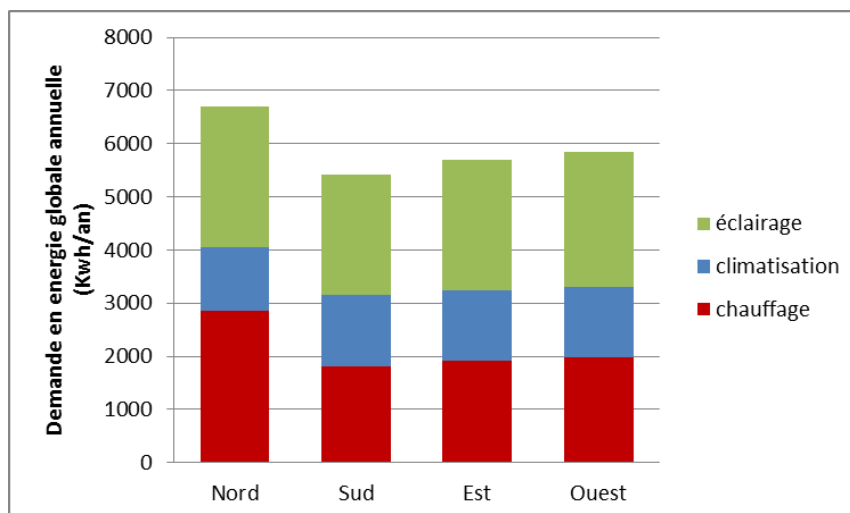


Fig.6. Demande en énergie globale annuelle de la salle de classe selon les différentes orientations (cas de référence)

3.2- Modification des paramètres

3.2.1- Impact du type de vitrage

a-Impact du type de vitrage sur la demande en énergie pour le chauffage et la climatisation

La performance thermique des différents matériaux verriers dépend à la fois de leur transmission thermique U et du facteur solaire F_s [15]. Les figures 7 et 8 montrent l'impact du type de vitrage sur la demande en énergie pour le chauffage et la climatisation de la salle de classe selon les différentes orientations et pour deux indices de vitrages (20% et 10%). Du point de vue thermique, le vitrage simple vert a peu d'impact sur la demande en énergie car sa transmission thermique U est pratiquement égale à celle du vitrage simple stopsol bronze.

Par contre, le vitrage à basse émissivité Planibel Top N ($U=1.3\text{w/m}^2.\text{K}$) réduit considérablement la demande en énergie pour le chauffage et la climatisation surtout pour le cas des orientations Sud et Est. Toutefois, son impact dépend également de l'importance de la surface vitrée :

-Dans le cas du $I_v=20\%$ (fig. 7), le vitrage Planibel Top N diminue la demande en énergie de : 25% dans le cas de l'orientation Sud, 22% pour la salle Est, 19% pour la salle Nord et 14% pour l'orientation Ouest ;

-L'impact du vitrage Planibel Top N diminue en réduisant la surface vitrée : pour un $I_v=10\%$

(Fig.8), la demande en énergie est réduite de 15% pour la classe orientée Sud, 13% pour celle exposée coté Est, 12% pour la salle Nord et 9% pour l'orientation Ouest.

Ces résultats confirment ceux de Nait [16] qui a réalisé 17% d'économie d'énergie sur les charges de climatisation en remplaçant le simple vitrage clair d'un bâtiment résidentiel situé à Constantine par du double vitrage basse émissivité. Quant à Buratti et al.[6], ils ont obtenu 37% d'économie d'énergie sur les charges annuelles de chauffage et de climatisation pour une salle de cours situé à Péruse (sud de l'Italie) en utilisant le vitrage Planibel Top N. Gasparella et al. [17] indiquent en effet que la transmission thermique du vitrage est le facteur le plus important et recommandent l'utilisation des vitrages à facteur U faible et à facteur solaire Fs élevé qui sera performant en hiver.

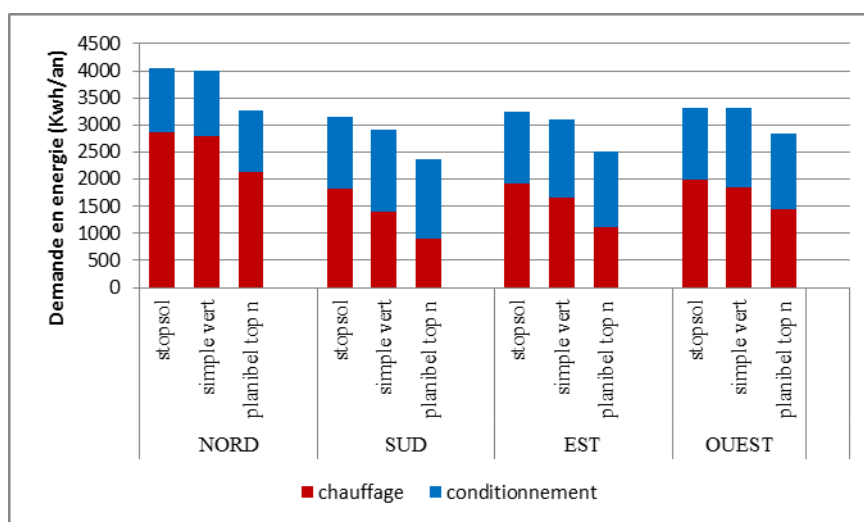


Fig.7. Impact du type de vitrage sur la demande en énergie pour le chauffage et la climatisation ($I_v = 20\%$)

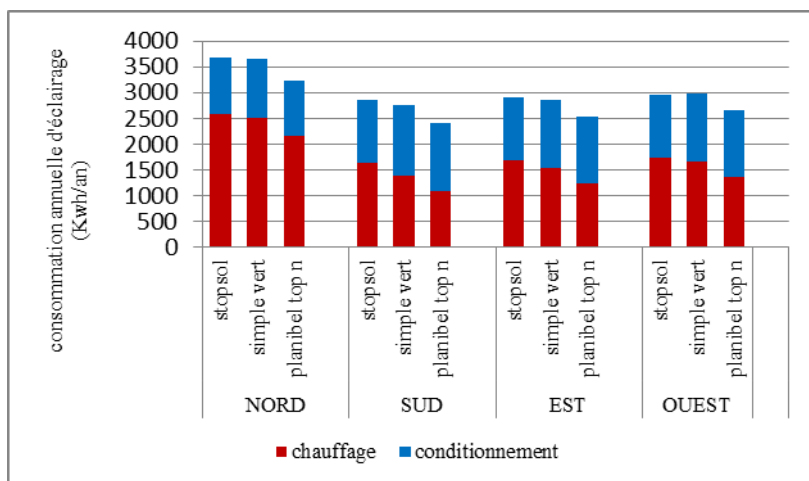


Fig.8. Impact du type de vitrage sur la demande en énergie pour le chauffage et la climatisation ($I_v=10\%$)

b-Impact du type de vitrage sur la demande en énergie pour l'éclairage

La transmission lumineuse TL du vitrage a une influence significative sur la consommation énergétique pour l'éclairage : plus TL se rapproche de 1, meilleure est la pénétration de la lumière visible et moindre est la demande en énergie pour l'éclairage.

Dans notre cas d'étude, la demande annuelle en éclairage électrique a été divisée par deux en remplaçant le vitrage stopsol bronze ($TL=0.22$) par des vitrages à transmission lumineuse élevée (fig. 9) à savoir le vitrage simple teinté vert ($TL=0.73$) et planibel Top N ($TL=0.78$). Ce qui rejoint les résultats de Yu et al. [18] qui ont enregistré une augmentation de 67,75% de la demande en énergie pour l'éclairage et de 18.21% sur la demande globale annuelle en remplaçant un vitrage dont $TL=0.67$ par un autre vitrage teinté dont $TL=0.2$. Les chercheurs soulignent également que la transmission lumineuse du vitrage a une influence sur la consommation énergétique globale du bâtiment car le changement de la consommation énergétique pour l'éclairage affecte les charges de chauffage et de climatisation de ce dernier.

Les résultats de la simulation montrent également que lorsque l'apport intérieur de lumière naturelle est important, c'est-à-dire quand le coefficient de transmission lumineuse du vitrage est élevé, l'influence de l'orientation est minime (4% de différence entre la salle orientée

Nord et celle orientée Sud). Ces résultats ressemblent à ceux obtenus par Bodart [14].

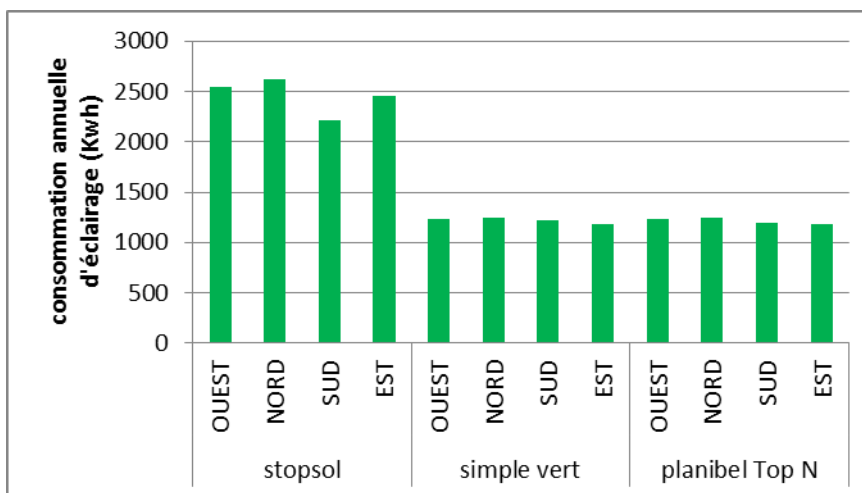


Fig.9. Impact du type de vitrage sur la demande en énergie pour l'éclairage ($I_v=20\%$)

c-Impact du type de vitrage sur la demande énergétique globale

D'après la figure 10, l'utilisation du vitrage simple stopsol bronze est à l'origine de la consommation énergétique globale la plus importante compte tenu de sa faible résistance thermique et son faible facteur de transmission lumineuse.

Le vitrage simple vert agit sur la demande en énergie pour l'éclairage grâce à son facteur de transmission lumineuse élevé et on relève ainsi une réduction de **21%** sur la demande globale. Quant au vitrage à basse émissivité Planibel Top N, il agit à la fois sur la demande en énergie pour le chauffage ainsi que sur les besoins en éclairage électrique grâce à sa résistance thermique et à son facteur de transmission élevé. Ainsi, on constate une réduction de **33%** sur la consommation globale, ce qui fait de lui le meilleur choix à entreprendre pour un bâtiment d'enseignement sous le climat contrasté de Constantine. Le même constat a été établi par Capeluto et Perez [7] pour le cas d'une salle de classe située à Tel Aviv (Israël), par Assem et Al Munin [19] pour un immeuble de bureaux localisé au Koweït et par Huang et al. [20] pour un bâtiment commercial à Hong Kong.

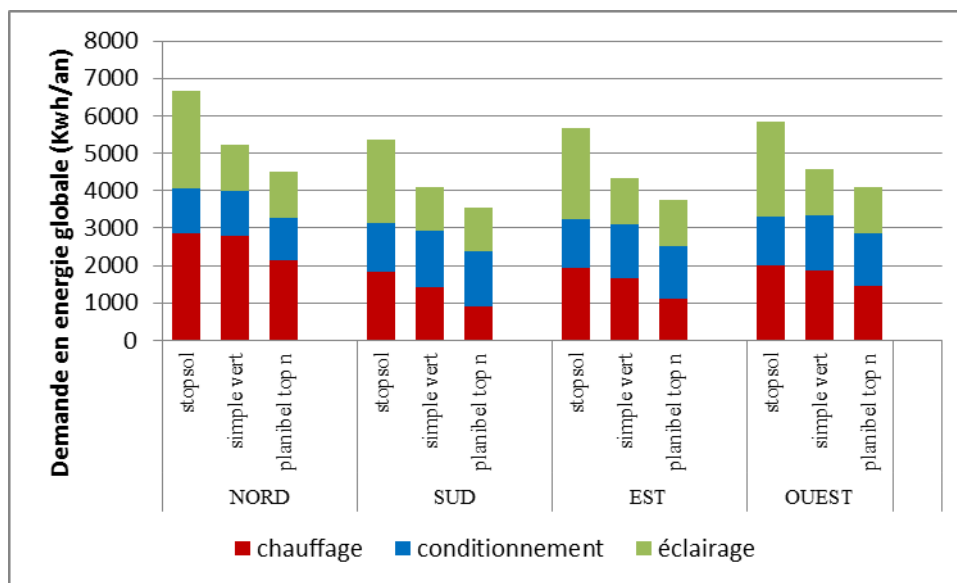


Fig.10. Impact du type de vitrage sur la demande en énergie globale ($I_v=20\%$)

3.2.2-Impact de l'indice de vitrage

a-Impact de l'indice de vitrage sur la demande en énergie pour le chauffage et la climatisation

Kontoleon et Bikas [21] ont affirmé qu'on pouvait réduire la demande en énergie d'un bâtiment grâce au choix approprié de l'indice de vitrage au même titre que le type de vitrage.

Les résultats de nos simulations numériques indiquent que l'impact de l'indice de vitrage dépend du type de vitrage utilisé, plus particulièrement de sa résistance thermique : l'impact est significatif pour les vitrages à faible résistance thermique (simple vert, simple stopsol) tandis qu'il est très faible lorsque la résistance thermique du vitrage est élevée comme c'est le cas pour le vitrage à basse émissivité Planibel Top N.

La figure 11 indique la demande en énergie annuelle pour le chauffage et la climatisation de la salle de classe pour les différentes orientations et en fonction de l'indice de vitrage dans le cas du vitrage simple stopsol bronze. Il ressort qu'avec ce vitrage, la réduction de l'indice de vitrage I_v implique une diminution des demandes en énergie pour le chauffage et de la climatisation pour toutes les orientations : elle est de 3.48%, 6.33% et 9.1% pour un ratio surface vitrage/surface plancher de 16%, puis de 12% et enfin de 10%. Cette diminution est due à la baisse des pertes par conduction en hiver, surtout pour la classe orientée Nord, de même que les gains solaires directs en été. En effet, les pertes par conduction passent de

26,3% pour un $I_v=20\%$, à 23,8% pour un $I_v=16\%$, à 21,5% pour un $I_v=12\%$ et enfin 11,7% pour un $I_v=10\%$.

-De même que pour le cas du vitrage simple vert, la réduction de l'indice de vitrage de 10% implique une réduction de la demande en énergie pour le chauffage et le conditionnement de 9% à 10% maximum pour l'orientation Ouest (Fig. 12). Les pertes par conduction du bâtiment passent en effet de 26,6% pour $I_v=20\%$ à 19,7% pour un $I_v=10\%$, tandis que les gains solaires directes passent de 22% pour $I_v=20\%$ à 14,1% pour $I_v=10\%$.

Pino et al. [22] ont obtenu les mêmes résultats lors de leurs expérimentations menées sur un immeuble de bureaux situé à Santiago (Chili) et équipé de vitrage simple. Ils précisent qu'avec un faible indice de vitrage ($WWR=20\%$), le bâtiment consommerait moins de $40\text{Kwh/m}^2/\text{an}$. De même que Yu et al. [18] soulignent que la réduction de la proportion de vitrage diminue surtout la demande en énergie pour la climatisation. De leur côté, Goia et al. [23] ont obtenu le même résultat pour un bureau orienté Nord (situé à Frankfurt en Allemagne) mais pour l'orientation Sud, ils ont constaté que la demande en énergie pour le chauffage n'est pas très affectée par l'indice de vitrage et expliquent que cette faible influence est due probablement aux importantes charges internes qui contribuent à réduire la demande de chauffage. Ils ont par contre relevé une diminution importante de la demande en énergie pour la climatisation qui a atteint les 70%.

-Pour revenir à nos propres résultats, la figure 13 indique la demande en énergie annuelle pour le chauffage et la climatisation de la salle de classe en fonction de l'indice de vitrage dans le cas du vitrage à basse émissivité Planibel Top N. En utilisant ce dernier, l'indice de vitrage a peu d'impact sur la demande en énergie pour le chauffage et la climatisation, en raison de son faible facteur U ($1.3\text{w/m}^2.\text{k}$) car la réduction des pertes par conduction est négligeable : de 13,2% pour $I_v=20\%$ à 11,5% pour $I_v=10\%$. En effet, la réduction de I_v de 10% conduit à une réduction de seulement 1.13% sur la demande annuelle d'énergie pour la salle orientée Nord et un maximum de 6.52% pour la salle exposée vers l'Ouest.

Il faut souligner également que la réduction de I_v fait que les besoins en chauffage augmentent légèrement pour le cas de l'orientation Sud et Est, tandis que la demande en énergie pour la climatisation diminue. Ceci est en rapport avec le facteur solaire du vitrage

(FS=61%) qui influe sur les gains solaires directs : ces derniers diminuent avec la réduction de I_v .

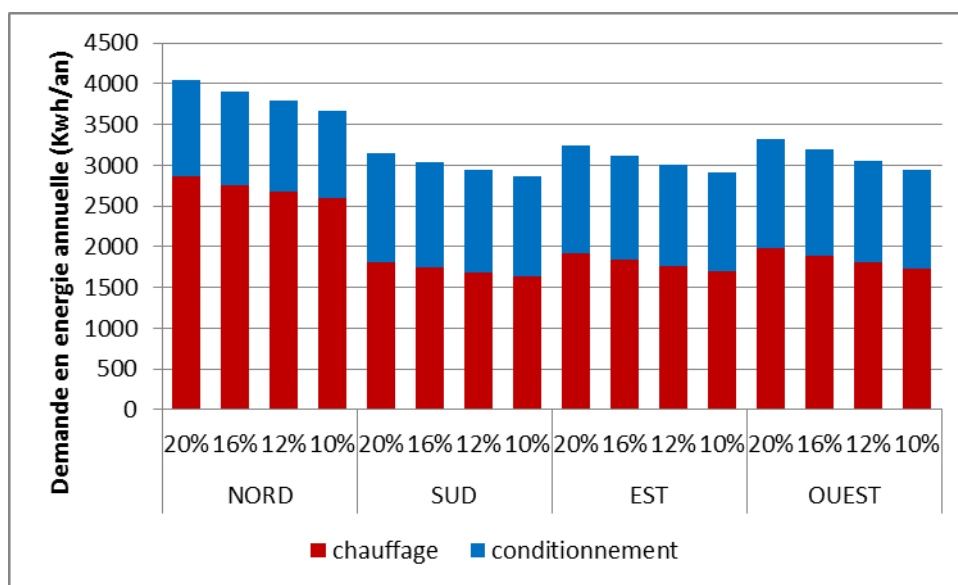


Fig.11. Impact de l’indice de vitrage sur la demande en énergie pour différentes orientations (cas du vitrage simple Stopsol bronze)

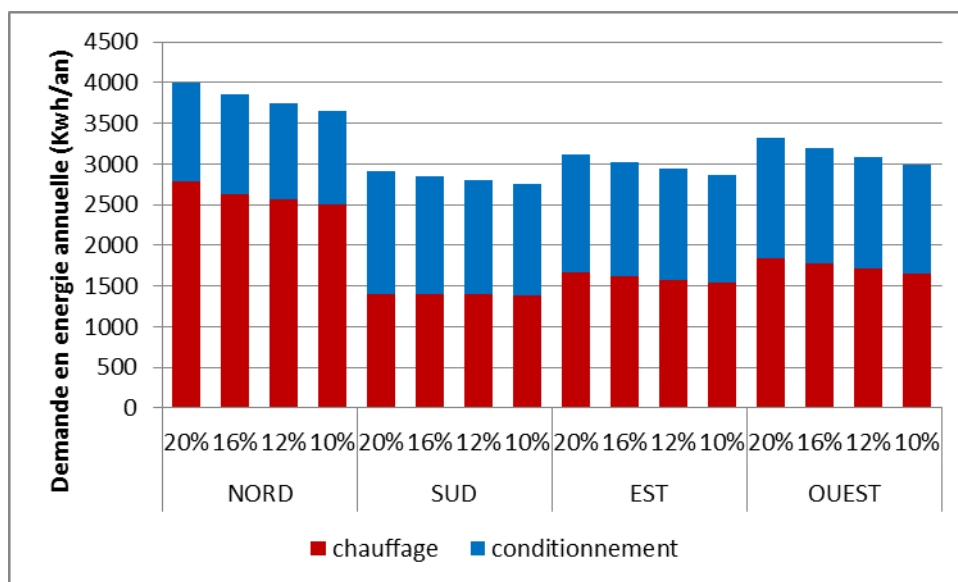


Fig.12. Impact de l’indice de vitrage sur la demande en énergie pour différentes orientations (cas du vitrage simple vert)

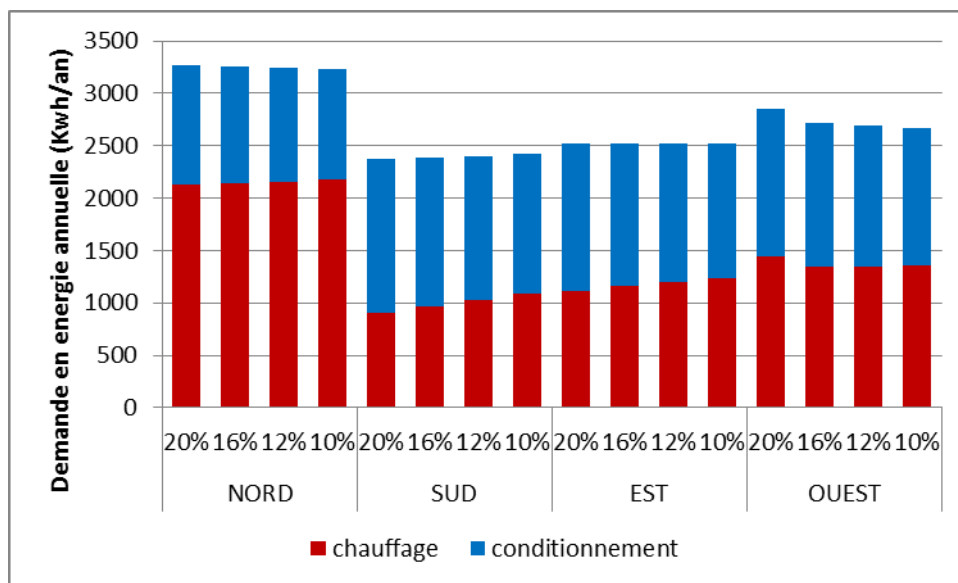


Fig.13. Impact de l'indice de vitrage sur la demande en énergie pour différentes orientations (cas du vitrage Planibel Top N)

b-Impact de l'indice de vitrage sur la demande en énergie pour l'éclairage

L'impact de l'indice de vitrage sur la consommation d'éclairage dépend du type de vitrage : dans le cas du vitrage à faible transmission lumineuse comme le stopsol bronze (figure 14), une réduction de Iv de 10% induit une augmentation de la consommation d'éclairage de 4.4% pour la classe orientée Ouest, 5.9% pour l'orientation Nord et 8.5% pour les classes Sud et Est.

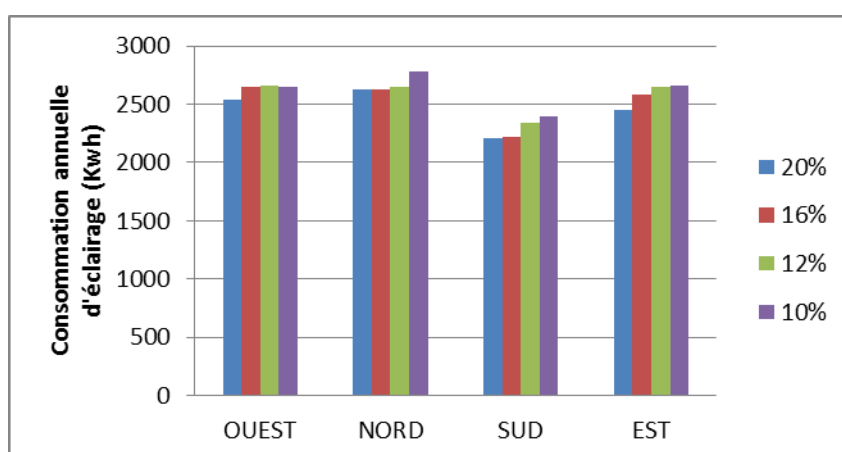


Fig.14. Impact de l'indice de vitrage sur la demande annuelle en énergie pour l'éclairage (cas du vitrage Stopsol bronze)

Pour les vitrages de transmission lumineuse élevée (simple vert et planibel Top N), l'impact est significatif : une réduction de I_v de 10% induit une augmentation de la consommation d'éclairage de 18.5% pour la salle orientée Sud, 24.4% pour celle exposée vers l'Ouest, 25.5% pour l'orientation Est et un maximum de 29% pour classe Nord (Fig 15).

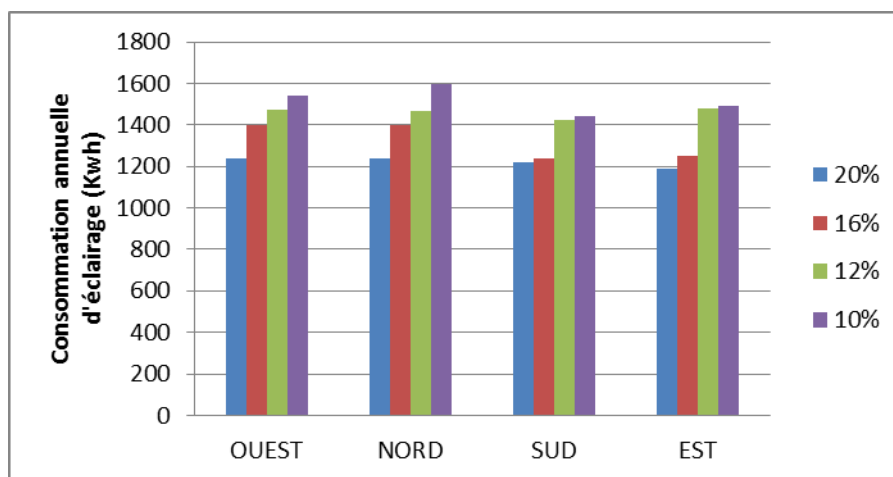


Fig.15. Impact de l'indice de vitrage sur la demande annuelle en énergie pour l'éclairage (cas du vitrage Simple vert et planibel Top N)

c-Impact de l'indice de vitrage sur la demande en énergie globale

Peu de chercheurs ont étudié l'impact de l'indice de vitrage sur la demande en énergie globale d'un bâtiment ; la plupart se sont focalisés soit sur les performances thermiques (demande en énergie pour le chauffage et conditionnement) ou bien sur les performances lumineuses (demande en énergie pour l'éclairage). Cependant, les premières recherches à ce sujet ont démontré le rôle important de la proportion du vitrage d'une façade sur la consommation énergétique globale du bâtiment. Nous citerons à titre d'exemple celle menée par Johnson et al. [24] qui ont réalisé une économie de plus de 50% sur l'énergie totale grâce à une configuration optimale du ratio WWR (window to wall ratio). Les recherches les plus récentes s'accordent à dire que ce paramètre a de moins en moins d'influence sur la consommation totale d'un bâtiment grâce aux avancées technologiques réalisées dans le domaine de la construction : meilleure isolation de l'enveloppe, produits verriers et protections solaires plus performants, systèmes HVAC...

-Pour revenir au cas de notre étude, il s'avère que dans le cas du vitrage simple stopsol

bronze, la réduction de l'indice de vitrage implique la réduction de la demande en énergie pour le chauffage et la climatisation mais une augmentation des besoins en éclairage électrique. Pour la demande en énergie globale (Fig 16), on observe qu'en abaissant l'indice de vitrage à 10%, on enregistre une réduction de la demande qui varie entre 1.8% pour la classe orientée Sud et Est et 4.3% pour les salles exposées vers le Nord et l'Ouest.

-Dans le cas du vitrage simple teinté vert, la réduction de l'indice de vitrage implique une augmentation très importante des besoins en éclairage (jusqu'à 29% pour la classe Nord) et une diminution des besoins en chauffage et en climatisation. Selon la figure 17, l'indice de vitrage n'a pas d'impact significatif sur la consommation globale. Toutefois, la demande minimale pour les salles Sud et Est est obtenue avec $I_v=16\%$, pour la salle Nord avec $I_v=12\%$, et pour la salle Ouest avec $I_v=10\%$.

-Dans le cas du vitrage basse émissivité Planibel Top N, la réduction de l'indice de vitrage induit une augmentation des besoins en chauffage et en éclairage et une baisse des besoins en climatisation. Ainsi, on observe selon la figure 18 que la réduction de I_v de 10% implique une augmentation de 7% de la demande en énergie globale, tout en restant largement inférieure à la demande globale calculée pour le cas de référence : par exemple, la classe orientée Nord équipée de vitrage planibel Top N et dont $I_v=10\%$ consomme 28% de moins que le cas de référence (au lieu de 33% pour $I_v=20\%$, soit une différence de 5%).

Ces résultats sont un peu différents de ceux d'autres recherches dans la mesure où celles-ci ont observé d'abord une baisse puis une augmentation de la demande en énergie totale :

-En réduisant le ratio WWR, Ochoa et al. [25] ont relevé une baisse puis une augmentation de la demande en énergie globale d'un local situé à Amsterdam (Pays Bas) avec une consommation minimale relevé pour un rapport $WWR=30\%$ pour l'orientation Nord et $WWR=20\%$ pour les autres orientations. Ils ont confirmé également que l'utilisation de larges ouvertures était contreproductive même dans les climats tempérés tel que celui d'Amsterdam.

-Yu et al. [18] ont eux aussi enregistré une baisse puis une augmentation de la demande en énergie globale pour un immeuble de bureaux situé à Wuhan (chine) en passant d'un WWR de 60% à 20% avec une consommation minimale pour $WWR=40\%$.

-De même que Goia et al. [23] qui ont déterminé pour le cas d'un bureau localisé sous le

climat tempéré de Frankfurt que la configuration optimale pour une façade orientée Sud ou Est est celle qui affiche un WWR situé entre 35%-45%. Tandis que pour les orientations Nord et Ouest, un WWR, entre 35%-50% constitue la configuration optimale.

Nos résultats confirment d'un autre côté que l'indice de vitrage a peu d'influence sur la demande en énergie totale particulièrement dans le cas de l'orientation Sud avec une influence maximale pour la facade Nord. Ceci rejoint les résultats de Goia et al. [23] qui ont trouvé que l'économie d'énergie réalisée par un WWR optimun ne dépasse pas les 11%.

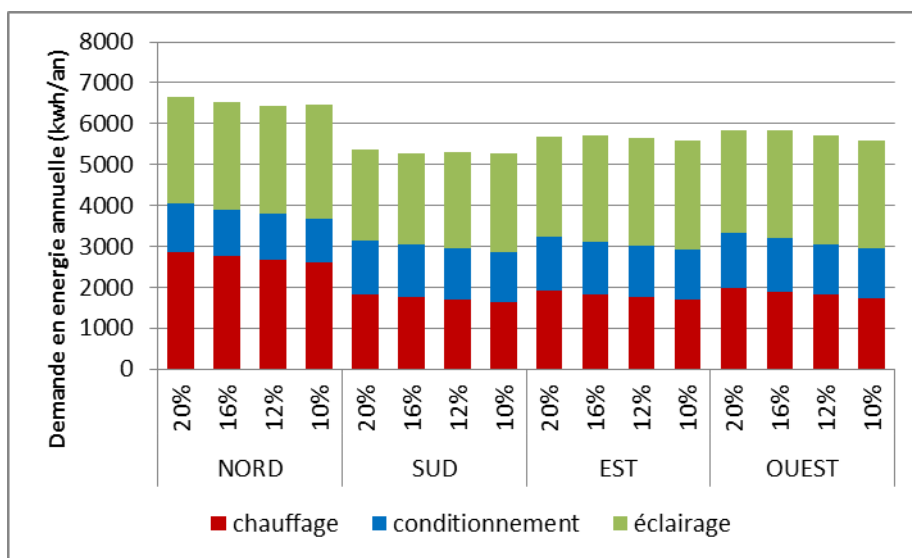


Fig.16. Impact de l'indice de vitrage sur la demande en énergie globale (cas du vitrage stopsol classic bronze)

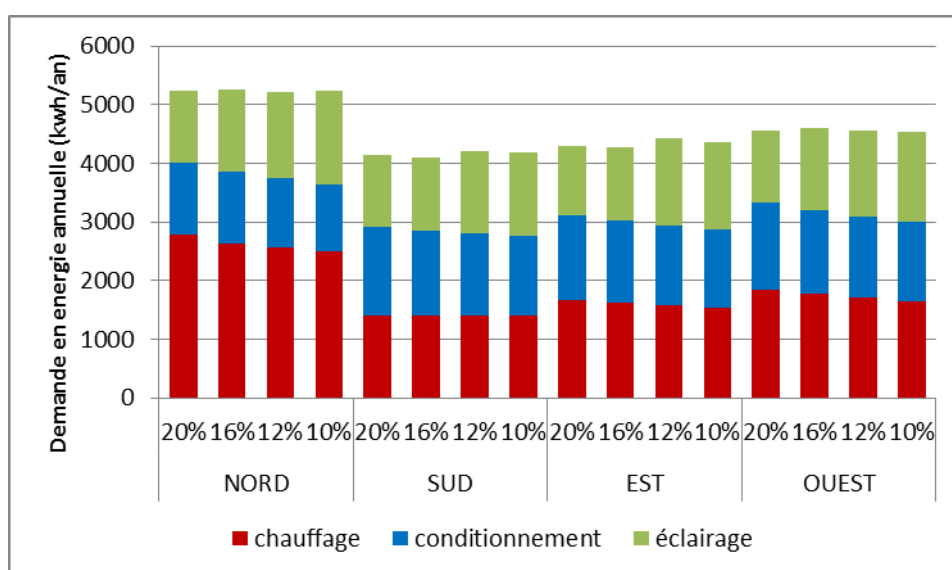


Fig.17. Impact de l'indice de vitrage sur la demande en énergie globale (cas du vitrage simple teinté vert)

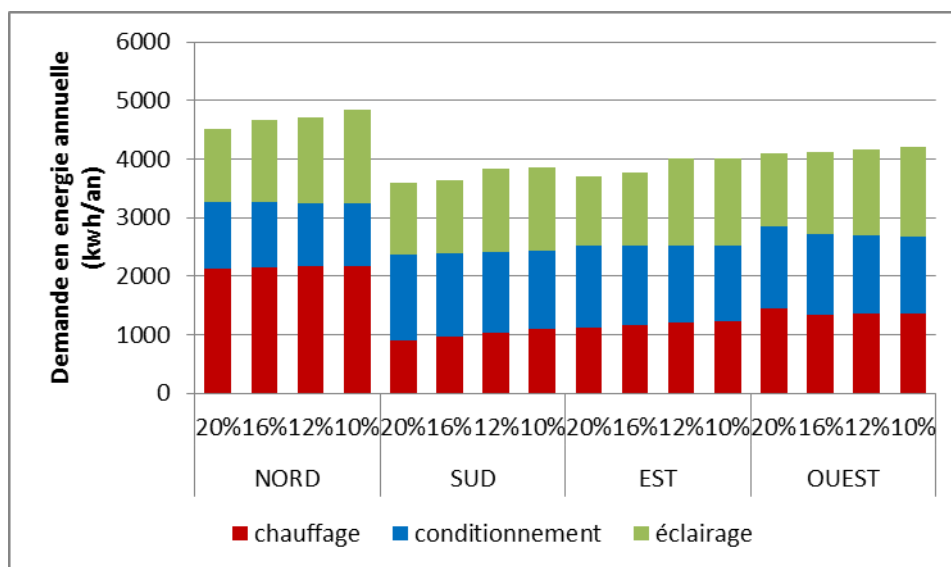


Fig.18. Impact de l'indice de vitrage sur la demande en énergie globale
(cas du vitrage Planibel Top N)

4. CONCLUSION

L'étude paramétrique entreprise confirme que le choix du type de vitrage est très important lors de la conception d'un bâtiment scolaire à basse consommation énergétique. Les vitrages à basse émissivité constituent la meilleure solution pour le cas des climats contrastés (froid en hiver et chaud en été) comme celui de Constantine. Il faut toutefois souligner que la transmission lumineuse TL du vitrage est la caractéristique la plus importante à prendre en considération compte tenu de son impact significatif sur la demande en énergie pour l'éclairage en particulier et sur la demande en énergie globale.

En ce qui concerne l'indice de vitrage, c'est plus compliqué : de larges ouvertures contribueront sans aucun doute à la diminution des besoins en éclairage et en chauffage grâce aux apports solaires directs en hiver mais engendreront des problèmes d'éblouissement et d'inconfort visuel en période chaude. D'autres paramètres sont à prendre en considération lors de futures recherches tel que le coefficient de forme du bâtiment C_f ($C_f = \text{la surface de l'enveloppe/le volume}$).

5. REFERENCES

- [1] Denker A., El Hassar S.M.K, Guide pour une construction éco-énergétique en Algérie. Allemagne : G.I.Z, 2015.
- [2] A.P.R.U.E. Programme de développement de l'efficacité énergétique à l'horizon 2030, Ministère de l'énergie et des mines, Algérie, 2015.
- [3] EN 15603 Performance énergétique des bâtiments - Consommation globale d'énergie et définition des évaluations énergétiques, 2008.
- [4] S.K. Alghoul, H. G. Rijabo, M. E. Mashena; Energy consumption in buildings: A correlation for the influence of window to wall ratio and window orientation in Tripoli, Libya. *Journal of Building Engineering*, 2017, Volume 11, p 82-86.
- [5] Goia, F., Haase, M. & Perino, M., Optimizing the configuration of a facade module for office buildings by means of integrated thermal and lighting simulations in a total energy perspective, *Applied Energy*, 2013, 108, p 515–527.
- [6] Buratti, C., Moretti E., Belloni E. & Cotana F. Unsteady simulation of energy performance and thermal comfort in non-residential buildings. *Building and Environment*, 2013, 59, p 482-491.
- [7] Capeluto, I.G. & Perez, Y.V. Climatic considerations in school building design in the hot-humid climate for reducing energy consumption. *Applied Energy*, 2009, 86(3), p 340-348.
- [8] Tibi, G. & Mokhtar, A. Glass Selection for High-Rise Buildings in the United Arab Emirates considering orientation and window to wall ratio. *Energy Procedia*, 2015, 83, p197-206.
- [9] Zemmouri, N. Daylight availability intergrated modelling and evaluation: A Fuzzy logic based approach. (Thèse de Doctorat, Université Farhat Abbas de Sétif), 2005.
- [10] The Chartered Institution of Building Services Engineers. *CIBSE Guide A: Environmental design*. London: CIBSE, 2006.
- [11] Reinhart, CF. *Tutorial on the use of Daysim simulations for sustainable design*. Harvard Design School, 2010.
- [12] Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment. *DTR C-3-2 Règlementation thermique des bâtiments d'habitation : règles de calcul des déperditions*

calorifiques. Ministère de l'Habitat, Algérie, 1998.

[13] The Society of Light and Lighting. *Lighting Guide 5: Lighting for education*. London: CIBSE, 2011.

[14] Bodart, M. *Création d'un outil d'aide au choix optimisé du vitrage du bâtiment, selon des critères physiques, économiques et écologiques, pour un meilleur confort visuel et thermique*. (Thèse de Doctorat, Université Catholique de Louvain, Belgique), 2002.

[15] Nielsen, T.R., Duer, K. & Svendsen, S. Energy performance of glazings and windows. *Solar Energy*, 2001, 69, 137–143.

[16] Nait, N. *La réhabilitation énergétique dans les logements collectifs existants-cas du climat semi-aride de Constantine*. (Mémoire de Magister. Université Mentouri de Constantine, Algérie), 2011.

[17] Gasparella, A., Pernigotto, G., Cappelletti, F., Romagnoni, P. & Baggio, P. Analysis and modeling of window and glazing systems energy performance for a well-insulated residential building. *Energy and Buildings*, 2011, 43, 1030–1037.

[18] Yu J., Liu Y., Xiong C. & Huang, J.C. Study on Daylighting and Energy Conservation Design of Transparent Envelope for office building in Hot Summer and Cold Winter Zone. *Procedia Engineering*, 2015, 121, 1642-1649.

[19] Assam, E.O. et Al-Mumin, A.A. Code compliance of fully glazed tall office building in hot climate. *Energy and Buildings*, 2010, 42, 1100–1105.

[20] Huang, Y., Niu, J.L. & Chung, T. Comprehensive analysis on thermal and daylighting performance of glazing and shading designs on office building envelope in cooling-dominant climates. *Applied Energy*, 2014, 134, 215–228.

[21] Kontoleon, K.J. et Bikas D.K. Modeling the influence of glazed openings percentage and type of glazing on the thermal zone behavior. *Energy and Buildings*, 2002, 34, 389–399.

[22] Pino, A., Bustamante, W., Escobar, R. & Encinas Pino, F. Thermal and lighting behavior of office buildings in Santiago of Chile. *Energy and Buildings*, 2012, 47(4), 441–449.

[23] Goia, F., Haase, M. & Perino, M. Optimizing the configuration of a facade module for office buildings by means of integrated thermal and lighting simulations in a total energy perspective. *Applied Energy*, 2013, 108, 515–527.

[24] Jonhson, R., Arasteh, D. & Selkowitz, S.E. Energy reduction implications with fenestration. In: Proceeding of CLIMA 2000, world congress on heating, ventilating, and air conditioning. Copenhagen, Denmark, August 26–29, 1985.

[25] Ochoa Carlos, E., Aries Myriam, B.C., van Loenen Evert, J. & Hensen Jan, L.M. Considerations on design optimization criteria for windows providing low energy consumption and high visual comfort. *Applied Energy*, 2012, 95, 238–245.

How to cite this article:

Benharkat S. Impact of facade configuration on energy consumption of school buildings in Constantine (Algeria). *J. Fundam. Appl. Sci.*, 2019, 11(3), 1099-1121.