

IMPACT DU MICROCLIMAT SUR LA CONSOMMATION ENERGETIQUE: CAS D'IMMEUBLES DE VERRE REFLECHISSANT DANS UNE RUE CANYON

KARIMA MEHAOUED^(1,2), MOHAMED DAHLI⁽²⁾, BERANGERE LARTIGUE⁽³⁾

⁽¹⁾Département d'architecture, Université Mohamed Khider - Biskra, Algérie
karima_mehaoued@yahoo.fr

⁽²⁾Département d'architecture, Université Mouloud Mammeri - Tizi-Ouzou, Algérie

⁽³⁾Laboratoire PHASE, Université Paul Sabatier - Toulouse III, France

ABSTRACT

Les murs-rideaux de verre réfléchissant ont été récemment introduits à Alger, ils sont considérés comme une nouvelle mode et sont très appréciés pour leur esthétique. Cependant, la construction de bâtiments vitrés peut affecter à la fois le microclimat extérieur et intérieur. Cette recherche aborde ces interdépendances en ce qui concerne la performance énergétique. Une étude paramétrique est faite en considérant une morphologie urbaine de type canyon avec différentes géométries (H/W, orientation solaire) et propriétés constructives (vitrage réfléchissant et vitrage transparent) avec le climat chaud d'Alger. Une méthode de couplage numérique associant deux logiciels est utilisée. Le logiciel du microclimat ENVI-met 4.0 pour étudier les conditions autour du bâtiment cas d'étude, et le logiciel de simulation énergétique du bâtiment Ecotect Analysis 2011 pour calculer les consommations d'énergie. L'investigation concerne les charges de climatisation pour une journée type d'été. L'énorme base de données obtenue est analysée statistiquement en utilisant la méthodologie du plan d'expériences (Design of Experiments-DoE). Les résultats de cette simulation ont illustré que les murs-rideaux de verre réfléchissant ne peuvent être intéressants dans le contexte d'Alger en raison de leur comportement thermique à élever les températures de l'air extérieur, et par conséquent l'augmentation des consommations d'énergie. Ce papier est une partie d'une recherche très approfondie, et quelques résultats sont présentés pour illustrer les interdépendances du bâti et microclimat ainsi que la pertinence de la méthode appliquée et la signification de tous les facteurs étudiés.

MOTS CLES: Verre réfléchissant, rue canyon, prospect, couplage numérique, consommations d'énergie.

1 INTRODUCTION

La morphologie urbaine possède un grand nombre de facteurs qui jouent un rôle très important sur le climat urbain et par conséquent sur la demande d'énergie dans les villes. Afin de mieux comprendre l'impact de ces facteurs, des campagnes de mesures in-situ ou des simulations numériques sont mises en œuvre. Ceci dit, l'avantage des simulations est qu'elles permettent d'obtenir des données rapidement et pour des configurations qui n'existent pas encore (nouvelles formes de bâtiments, agencement des rues) afin d'optimiser les nouvelles constructions.

Cependant l'environnement urbain est complexe, c'est pourquoi il est nécessaire de disposer de représentations simplifiées de sa géométrie. Le canyon urbain est la plus simple représentation. Il s'agit de deux rangées de bâtiments se faisant face. La hauteur des bâtiments H et la largeur de la rue W sont constantes tout au long de la rue. Lorsqu'il s'agit d'études dans le domaine de thermique ou aérodynamique, la profondeur des bâtiments doit aussi être définie [1]. De nombreuses études utilisent cette géométrie simplifiée pour d'autres domaines comme la répartition des polluants sur les façades des bâtiments dans un canyon [2].

Nous avons recensé quelques travaux de recherche permettant de mettre en évidence l'influence de différents paramètres de la rue canyon sur les consommations d'énergie des bâtiments ; Bozonnet [3] évalue l'influence des dissipations thermiques des climatiseurs en façades participant au dégagement de chaleur anthropique sur la consommation d'énergie des bâtiments, en conditions estivales, dans le cas d'une rue canyon méditerranéenne à Athènes, à l'aide de campagnes de mesures sur site et de simulations thermo-aérodynamiques. Sur la même typologie, Alexandri et Jones [4] étudient l'effet des toitures et murs végétalisés sur le microclimat, confort thermique et consommation énergétique pour le cas d'une étude paramétrique en considérant trois prospects H/W du canyon et deux orientations différentes. Un code numérique est développé pour mener à bien cette étude. Une autre étude de Krüger et Pearlmutter [5] analyse l'impact de l'humidité par évaporation extérieure sur la demande en énergie des bâtiments en ajoutant aux rues canyons entre les bâtiments des bacs d'eau. Une campagne de mesure est effectuée pour servir de données météorologiques au logiciel utilisé pour le calcul de l'énergie consommée.

Ali-Toudert [6] adopte une méthode qui repose sur la simulation numérique avec la combinaison de deux logiciels de calcul ; un logiciel de canyon urbain et un logiciel de l'énergétique de bâtiments dans le cas aussi d'une étude paramétrique. Le profil vertical, l'orientation solaire, le ratio du verre, le climat, l'inertie thermique et l'isolation thermique étaient les facteurs influents.

En effet, au sein d'une rue, le revêtement des façades a une influence importante sur la réflexion du rayonnement solaire. Cette réflexion du rayonnement solaire entre les façades est un facteur important, d'ailleurs, la façade d'en face peut être considérée comme une source au moins aussi importante que la voûte céleste sous des conditions de ciel clair [7]. C'est pour toutes ces raisons que dans la présente étude notre préoccupation majeure réside dans l'impact des inter-réflexions des façades de bâtiments entièrement en verre réfléchissant sur l'environnement extérieur en termes de microclimat et sur l'environnement intérieur en termes de consommations d'énergie de climatisation des bâtiments.

2 CAS D'ETUDE

2.1 Climat du site

Alger est située à une latitude de $36^{\circ}.43$ Nord et une longitude de $3^{\circ}.15$ Est. Le climat de la ville est de type méditerranéen, c'est-à-dire, climat tempéré qui se caractérise par des étés très chauds et des hivers froids et humides, le plus souvent pluvieux [8]. La position intermédiaire des régions à climat méditerranéen entre les dépressions tempérées et les anticyclones subtropicaux explique que la saison froide soit humide et soumise à un temps variable et que la saison chaude soit sèche et soumise à un temps peu variable. Pour le cas d'Alger c'est la présence de la chaîne montagneuse de l'Atlas blidéen sur son flanc sud et de la mer méditerranéenne au nord qui caractérise son climat. Plus on va vers les pôles, plus la sécheresse estivale est courte et moins marquée; plus on s'approche de l'équateur, plus la sécheresse estivale est dure [9].

Les températures moyennes sont supérieures à 25°C au mois d'août (Fig.01). Les températures maximales dépassent très souvent les 30°C en été, et approchent facilement les 38°C ces dernières années, en particulier au cours des vagues de chaleur qui accablent le pays et qui enregistrent des pics de consommations énergétiques. L'hiver est doux et les températures moyennes des mois les plus froids sont généralement supérieures à 11°C en janvier et décembre [10].

La radiation solaire est très importante avec plus de 250 jours de soleil par an, et l'intensité du rayonnement solaire direct varie entre 5000 et 6000 Wh/m^2 durant l'été, sur une surface horizontale isolée et sans contribution d'aucun masque solaire, avec des heures d'ensoleillement arrivant jusqu'à 16 heures [11].

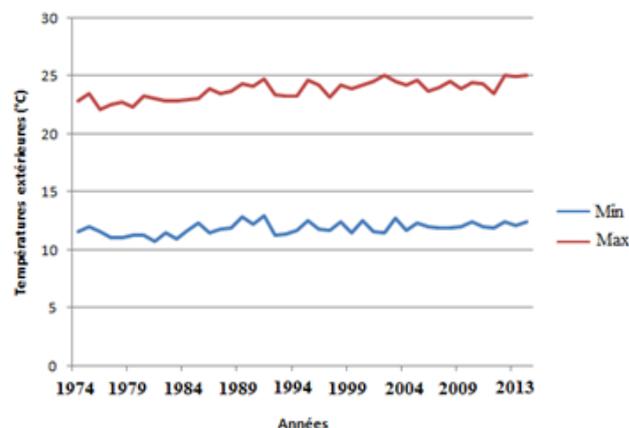


Figure 01: Températures minimales et maximales moyennes d'Alger entre 1974-2015

(Source: <http://en.tutiempo.net>)

2.2 Présentation du cas d'étude

Notre travail de recherche consiste en une étude paramétrique d'un modèle urbain simplifié de deux géométries de la rue canyon d'une longueur de 54m, composées de neuf enveloppes bâties de formes cubiques identiques, de dimensions de 18 m^3 . Le bâtiment situé au centre est pris comme zone d'étude pour déterminer quantitativement l'influence de différents facteurs sur sa demande énergétique de climatisation. A l'échelle urbaine, nous faisons varier la largeur des rues pour obtenir deux prospectifs H/W différents : 1 pour un canyon large (H=18 m et W=18 m) et 3 pour un canyon profond (H=18 m et W=6 m). Ces canyons sont examinés selon deux orientations : l'une est lorsque l'axe du canyon est parallèle à l'axe Est-Ouest (référé canyon EO), et l'autre lorsque l'axe du canyon est parallèle à l'axe Nord-Sud (référé canyon NS). A l'échelle du bâtiment, la caractéristique principale de l'enveloppe est évaluée, notamment la réflectivité des murs-rideaux de verre dont deux coefficients 0.05 et 0.30 sont étudiés (Tab.01). Les données météorologiques d'une journée type d'été 07 Août sont considérées comme base d'une échelle de temps d'analyse, puisque les canicules estivales à Alger sont très fréquentes avec des températures très importantes.

Tableau 01: Facteurs de d'étude paramétrique

Facteurs	Niveau bas (-1)	Niveau haut (+1)
Profil vertical	H/W=1	H/W=3
Orientation	Nord-Sud	Est-Ouest
Réflectivité du verre	0,05	0,30

3 OBJECTIF DE L'ETUDE

Dans cette présente étude nous avons tenté à travers une co-simulation numérique d'identifier l'effet des murs-rideaux de verre réfléchissant dans le cas typique d'une rue canyon.

Ceci permet de faire dialoguer deux échelles urbaine et architecturale dont l'objectif est de suggérer éventuellement des dispositions à introduire lors de demande de permis de construire, et modestement à une première étape, peut être, d'une réglementation nécessaire.

4 METHODOLOGIE

Pour notre cas, nous avons utilisé la technique de couplage numérique qui combine deux logiciels ; ENVI-met BETA 4.0 et Ecotect Analysis 2011. Dans un premier temps, nous avons configuré le modèle avec le freeware ENVI-met pour simuler l'environnement extérieur et avoir des données microclimatiques. À la seconde étape, nous avons modélisé le bâtiment dans Ecotect pour évaluer ses consommations d'énergie avec les fichiers climat du premier logiciel ENVI-met (Fig.02).

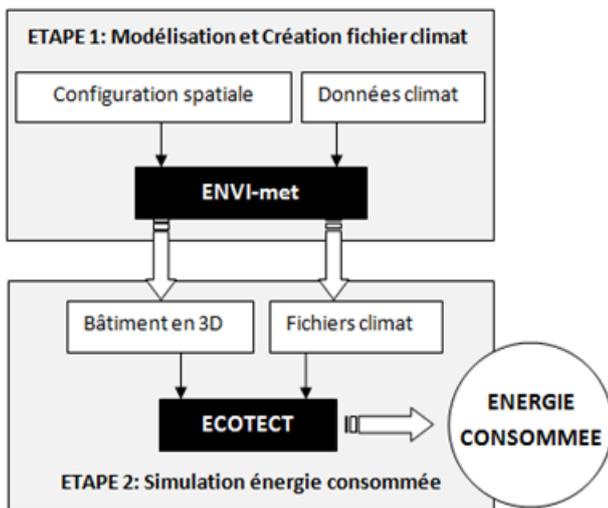


Figure 02: Schéma illustrant l'approche méthodologique utilisée (Source: Auteur)

ENVI-met est un logiciel tridimensionnel du microclimat basé sur la dynamique et la thermodynamique des fluides [12]. C'est l'un des rares modèles de l'échelle méso. Le développement du modèle a été lancé en 1995 par Michael Bruse à la Ruhr-Universität à Bochum en Allemagne. Cet outil dont le nom est tiré du terme "Environmental Meteorology" fonctionne contrairement à beaucoup d'autres simulations climatiques-sur un ordinateur standard [13].

Les données microclimatiques sont contenues dans les fichiers des récepteurs qui sont des points placés à l'intérieur de la zone simulée et utilisés pour donner différents paramètres (état de l'atmosphère et de la surface) de $Z = 0$ à Z_{max} , le nombre de récepteurs peut arriver jusqu'à 100 [14].

Dans notre cas nous avons positionné cinq récepteurs dans le domaine simulé ; le premier sur le toit (T) pour témoigner des conditions limites du domaine d'étude, deux à une distance d'un mètre des façades (N1 et S1) pour

prendre en compte le flux de chaleur convecté avec les façades, les deux derniers (N2 et S2) sur les axes des deux rues pour mesurer l'effet du rayonnement intercepté et réfléchi par la rue et les façades (Fig.03).

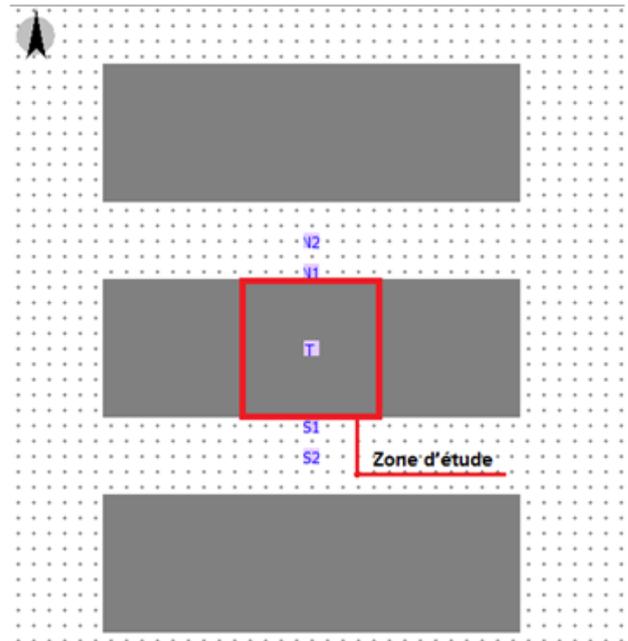


Figure 03: Emplacement des récepteurs

(Source: Auteur)

Ecotect est un outil d'analyse de conception conçu par Andrew Marsh de la compagnie Square One Research en 2005. Ce logiciel offre un large éventail de fonctionnalités; le tracé de l'ombrage, l'éclairage, l'acoustique et l'analyse du vent, ainsi que la thermique. Il utilise CIBSE Admittance Method (Chartered Institution of Building Services Engineers) en Irlande pour calculer les charges de chauffage et de refroidissement des bâtiments [15]. Les fonctionnalités d'analyse de consommation d'énergie intègrent des outils permettant de visualiser et de simuler les performances d'un bâtiment [16].

Le modèle repose sur le concept de "zone thermique", sous-ensemble du bâtiment considéré à température homogène [17]. Dans notre cas, notre bâtiment est considéré comme étant un ouvrage multizone où chaque étage représente deux zones thermiques à deux orientations (Fig.04).

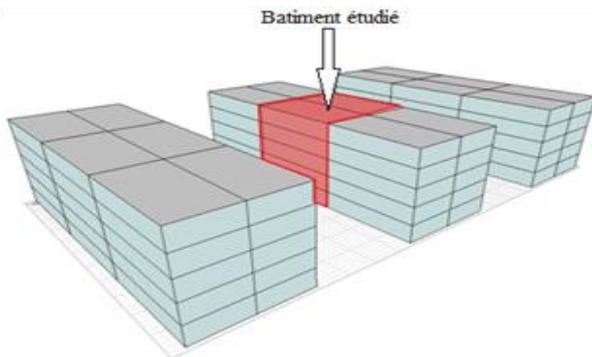


Figure 04: Zones thermique telles représentées dans Ecotect
(Source: Auteur)

5 RESULTATS ET DISCUSSION

5.1 Le microclimat dans le canyon

Pour le cas des canyons larges (H/W=1) orientée Est-Ouest dont le verre est d'une réflectivité solaire de 0.32, une stratification verticale de l'air a eu lieu dans le volume du canyon avec des températures plus importantes au niveau du sol. En analysant les températures de l'air extérieur pour trois séquences horaires de la journée ; 9h00, 12h00 et 15h00, les plus élevées sont relevées à chaque fois au niveau le plus bas. Cependant, en début de matinée les températures ambiantes enregistrées dans les deux canyons variaient entre un minimum de 24.5°C et un maximum de 25.5°C, avec une différence de 1°C (Fig.05), ceci est dû aux températures de surface nettement plus faible et aux zones ombragées des canyons.

A midi, les variations étaient de 2.5°C avec des températures incluses entre 27.5°C et 30.0°C (Fig.06), dans l'après midi, une différence maximale allant jusqu'à 4.0°C a été enregistrée aux alentours de 15h00 avec des températures de l'air maximales de 34.0°C au niveau bas et minimales 30.0°C au niveau haut des canyons (Fig.07).

En effet, les variations des températures de l'air dans le volume du canyon sont attribuées à la quantité de chaleur transférée à partir de ses facettes à l'air comme flux sensible, elles dépendent des températures des surfaces qui sont à leur tour directement affectée par l'exposition au soleil. Plus la superficie totale irradiée du canyon est grande, plus l'énergie rayonnante dissipée est importante [18, 19 et 20]. Ceci est défini par le facteur d'ouverture au ciel (Sky View Factor-SVF), donné par l'équation (1), de telle sorte que α est l'angle vertical déterminé par un obstacle à l'angle azimut π [18].

$$SVF = \frac{1}{360} \sum_{\alpha=0}^{360} \cos \alpha (\pi), \quad (1)$$

Dans notre cas, le SVF calculé par ENVI-met au niveau du sol est de l'ordre de 0.40.

5.2 Microclimat avec deux types de verre

Pour évaluer l'impact du verre réfléchissant nous l'avons comparé au cas où tous les bâtiments sont revêtus de verre transparent. Dans ce travail nous présentons le cas d'une seule orientation Est-Ouest et du même ratio H/W des ambiances thermiques générées à coté de la façade orientée sud. Pour ce faire, nous avons calculé les moyennes des températures enregistrées aux récepteurs S1 pour les deux types de verre réfléchissant et transparent.

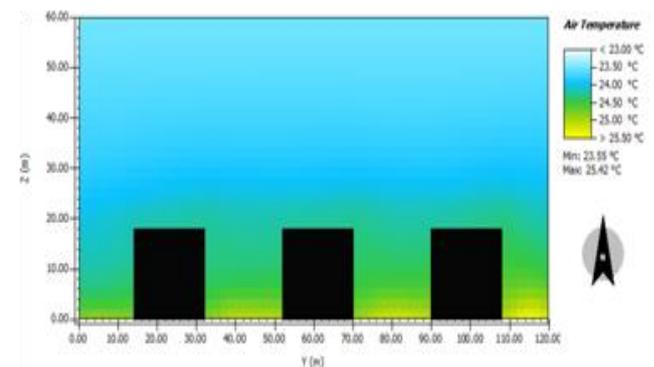


Figure 05: Microclimat dans la rue à 9h00 du matin.
(Source: Auteur)

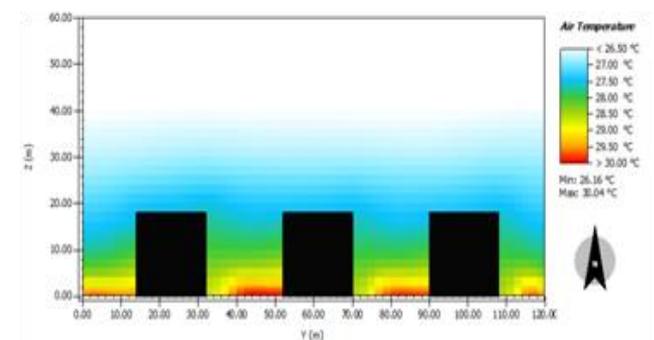


Figure 06: Microclimat dans la rue à 12h00.
(Source: Auteur)

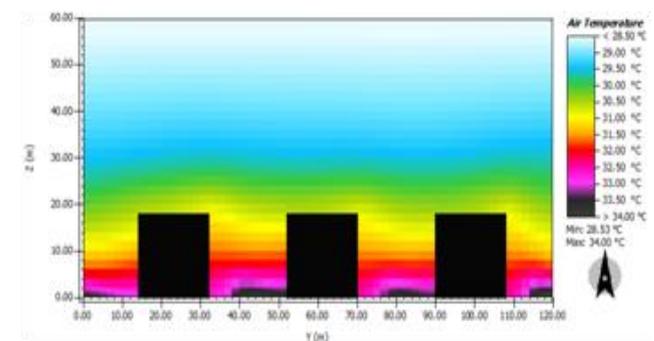


Figure 07: Microclimat dans la rue à 15h00 d'après-midi.
(Source: Auteur)

La Fig.08 les résultats obtenus. On constate que les deux courbes des températures enregistrées au sein du canyon avec les deux verres ont la même tendance mais avec des amplitudes différentes. Pour le cas du verre réfléchissant les températures varient entre 22.53°C et 33.10°C de 8h00 à 17h00 et pour le second cas du verre transparent elles sont comprises entre 22.08°C et 31.89°C. Cependant, les écarts des températures pour les deux cas sont de 0.5°C de 8h à 11h, et entre 0.5°C et 1°C de 11h à 14h, et dépassaient 1°C entre 14h et 17h pour atteindre un maximum de 1.30°C à 16h.

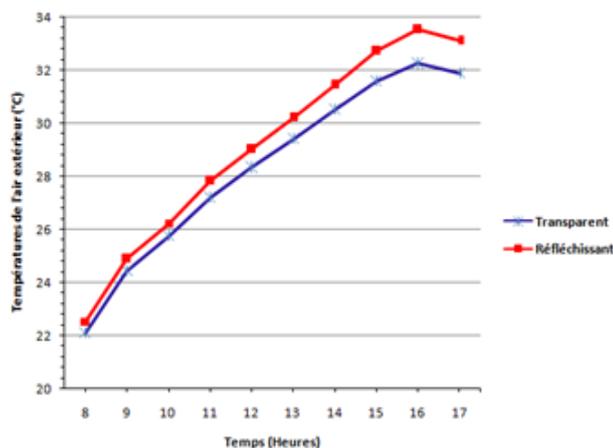


Figure 08: Moyennes des températures dans la rue avec deux types de verre clair et transparent (Source: Auteur)

En effet, les façades dont la valeur d'albédo est élevée réfléchissent une grande partie de l'éclairement solaire (Fig.09). Le rayonnement réfléchi est intercepté par la rue et par les bâtiments se trouvant à proximité ce qui intensifie l'éclairement de la scène urbaine considérée et élève les températures ambiantes [21].

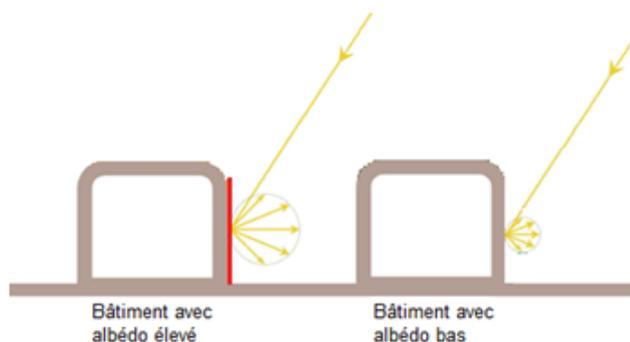


Figure 09: Comparaison des parois à verre réfléchissant et à verre transparent (Source : Auteur)

Et les inter-réflexions entre une paroi verticale et son environnement immédiat permettent un échange de chaleur entre les deux surfaces adjacentes (Fig.10). Ces effets ont un rôle clé dans le réchauffement de l'air et différents scénarii peuvent être rencontrés (effet dièdre ou double

dièdre), y compris les zones ensoleillées contiguës responsables des effets de renforcement [22].

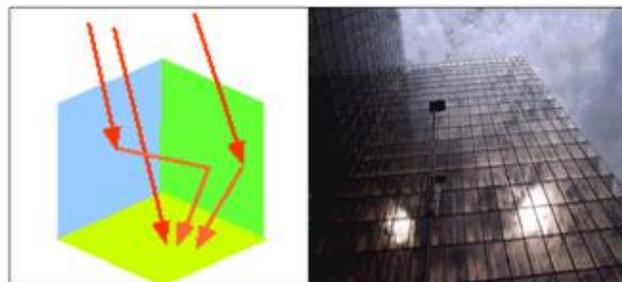


Figure 10: Effets de double dièdre

(Source: Laboratoire ABC, 2000)

Les verres réfléchissants empêchent la chaleur solaire de pénétrer dans le bâtiment par réflexion du rayonnement solaire infrarouge et ultraviolet, non perceptible à l'œil, mais représentant respectivement 43 % et 3 % de l'énergie solaire. Ils reflètent en même temps la lumière, c'est-à-dire le rayonnement visible du spectre solaire, entraînant une transmission lumineuse plus faible que celle des vitrages clairs. Les vitrages réfléchissants ont un facteur de transmission lumineuse TL compris entre 0.07 et 0.65 contre 0.66 et 0.76 pour un verre clair [23].

5.3 Impact sur les consommations d'énergie

Dans Ecotect, cinq zones thermiques correspondant aux cinq différents niveaux du bâtiment et à l'orientation Sud ont été simulés dans le présent cas (Fig.11). Elles ont été calculées et comparées pour deux cas ; le cas de bâtiments revêtus de verre réfléchissants et le cas de bâtiments en verre transparent.

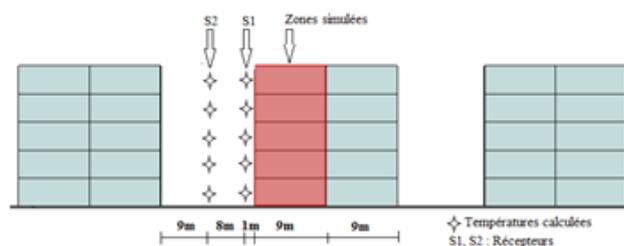


Figure 11: Zones thermiques simulées

(Source: Auteur)

Le Tableau 02 ci-dessous récapitule les données utilisées pour les simulations des consommations d'énergie dans Ecotect. Dans notre cas, les zones thermiques sont thermostatées avec une température de consigne de climatisation de 26°C. Les puissances de climatisation nécessaires pour maintenir la température souhaitée sont calculées avec un pas de temps d'une heure. Pour chaque zone, il est impératif d'appliquer une durée des charges de

climatisation, et pour notre cas, cette durée est facilement paramétrable, puisque nous considérons une seule classe de bâtiments, celle des bâtiments tertiaires et plus particulièrement les immeubles de bureaux, donc elle est directement liée aux horaires de travail des usagers allant de 8h00 à 17h00.

Tout comme nous avons défini le nombre et l'activité des personnes pour chaque zone ; 4 personnes sédentaires générant chacune 70W ayant un ordinateur libérant 230W de chaleur. Pour l'éclairage, nous avons choisi une lumière fluorescente avec 10W/m² d'énergie. En outre, les gains et pertes de chaleur dues à l'infiltration de l'air extérieur est négligeable (0.1vol./h), les bureaux sont considérés parfaitement étanches à l'air.

Tableau 02: Données de simulation dans Ecotect

Description du bâti	Dimension: 18mx18mx18m. Type: Immeuble de bureaux.	
Propriétés des verres	Verre Transparent	Verre Réfléchissant
TL*	80%	48%
FS*	76%	33%
Réfectivité	5%	30%
Epaisseur	6+12+6	6+12+6
Période d'occupation	08:00-17:00.	
Climatisation	Mise en marche lorsque la température opérative $T_{op} \geq 26^{\circ}\text{C}$ durant la période d'occupation.	
Infiltrations	Infiltration 0.1 vol./h.	
Gains internes	Gains Latents: 4 personnes 70W/ personne. Gains Sensibles: 240W.	
Eclairage	400lux.	
Tenue vestimentaire	Tenue de travail été 1.0clo.	

*TL : Transmission lumineuse, *FS : Facteur Solaire.

La Fig.12 montre les charges de climatisation pendant la période d'occupation (08h00-17h00) pour les deux types de verre transparent et réfléchissant. On observe que les charges de climatisation pour le cas du verre transparent sont plus élevées que le cas du verre réfléchissant. Les écarts de consommations enregistrés sont d'un minimum de 9.2kW à 8h et d'un maximum de 42.1kW à 17h. Ceci signifie que les charges de climatisation sont fortement influencées par les propriétés optiques et thermiques des façades réfléchives du canyon. En effet, le verre transparent laisse passer une grande partie de la lumière (TL= 80%) et du rayonnement infrarouge (FS= 76%), contrairement au verre réfléchissant qui stoppe le rayonnement infrarouge (FS=48%) et ne laisse accéder que 48% de rayonnement visible. Ceci étant dit, les résultats de ces simulations concernent uniquement le verre réfléchissant teinté en bleu d'une réflectivité de 30% et d'une épaisseur de 6+12+6. D'autres comparaisons peuvent être faites entre des simples vitrages réfléchissants et des doubles ou simples vitrages transparents pour évaluer les consommations d'énergie.

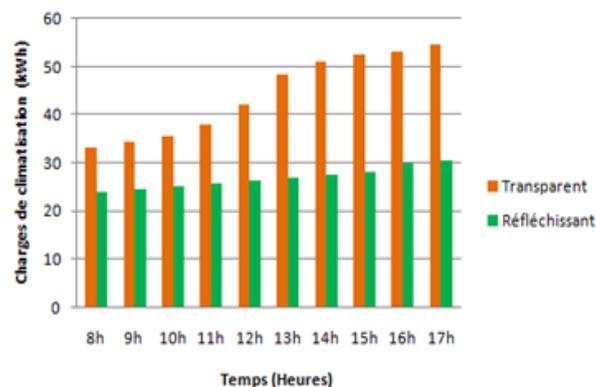


Figure 12: Charges horaires de climatisation pour les deux verres

6 CONCLUSION

Dans la continuité des études antérieures sur ces questions de microclimats urbains et caractéristiques des surfaces en ville, le travail actuel permet, d'une part, l'évaluation de l'impact des enveloppes réfléchives sur l'environnement microclimatique à l'échelle de la rue canyon. D'autre part, le développement d'une méthode permettant la prédiction de la réponse thermique des bâtiments entièrement en verre réfléchissant aux sollicitations météorologiques dans un milieu urbain.

En plus de la charge thermique supplémentaire ajoutée à l'environnement extérieur en termes d'inconfort thermique, les murs-rideaux de verre réfléchissant occasionnent de sérieuses sources de gêne liées essentiellement aux effets d'éblouissement [24], et accentuent le « sentiment d'enfermement » chez les riverains en entraînant un contrôle fortement exercé sur les persiennes et l'utilisation réduite des balcons [9].

Pour la qualité des environnements intérieurs vécus, les occupants d'immeubles existants se plaignent de la qualité tonale du verre réfléchissant "sombre et foncée" qui atténue fortement l'éclairage naturel et engendre un sentiment de tristesse [25].

Toutes ces considérations doivent conditionner la qualité du verre utilisé dans la conception des enveloppes en murs-rideaux de verre réfléchissant dans les environnements urbains en amont dans la demande du permis de construire; qualité du verre à réglementer.

REFERENCES

- [1] Patriarche, M. (2014). Mesure et modélisation de la lumière naturelle dans les canyons urbains, Thèse de Doctorat, ENTPE, France.
- [2] Nazridoust K. and Ahmadi G. (2006). Airflow and pollutant transport in street canyons. Journal of wind engineering and industrial aerodynamics, 94(6), 491-522.
- [3] Bozonnet E. (2005). Impact des microclimats urbains

- sur la demande énergétique des bâtiments Cas de la rue canyon, Thèse de Doctorat, Université de la Rochelle, France.
- [4] Alexandri E. and Jones P. (2008). Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates, *Building and Environment* (43) 480–493.
- [5] Krüger E-L, and Pearlmutter D. (2008). The effect of urban evaporation on building energy demand in an arid environment, *Energy and Buildings* (40) 2090–2098.
- [6] Ali-Toudert F. Energy efficiency of urban buildings: significance of urban geometry, building construction and climate conditions, The seventh International Conference on Urban Climate, 29 June - 3 July 2009, Yokohama, Japan.
- [7] Wa-Gichia, M. (1998). The high-rise opposing façade in clear sky conditions, not always an obstruction to daylight. *Solar Energy*, 64(4-6), 179-188.
- [8] Boucherf, D. (2004) « Les changements climatiques en Algérie ». ONM, Alger.
- [9] Mehaoued, K. (2009). Impact des bâtiments de verre réfléchissant sur l'environnement thermique et lumineux des espaces extérieurs environnants. Mémoire de magistère, Département d'architecture, UMMTO Algérie.
- [10] <http://en.tutiempo.net>. (Consulté le 10.05.2016)
- [11] Capderou, M. (1985) « Atlas solaire de l'Algérie » (tome-2). OPU, Alger, Algérie.
- [12] Bruse, M. (1999). The influences of local environment design on microclimate—development of a prognostic numerical Model ENVI-met for the simulation of wind, temperature and humidity distribution in urban structures. Ph.D. Thesis, Germany: University of Bochum; 1999 (en Allemand).
- [13] Huttner, S. (2012). Further development and application of the 3D microclimate simulation ENVI-met, Ph.D Thesis, University of Mainz, Germany.
- [14] Ozkeresteci, I., Crewe, K., Brazel, A.J. and Bruse, M. Use and evaluation of the ENVI-met model for environmental design and planning: an experiment on linear parks, Proceedings of the 21st International Cartographic Conference (ICC), 10-16 August 2003, Durban, South Africa.
- [15] Gezer, N-A. (2003). The effects of construction materials on thermal comfort in residential buildings; analysis using Ecotect 5.0, Master of Science in the department of architecture, Turkey.
- [16] <http://www.squ1.com> (Consulté le 20.03.2016)
- [17] Salomon, T., Mikolasek R., et Peuportier, B. Outil de simulation thermique du bâtiment, COMFIE, Journée thématique SFT-IBPSA mars 2005.
- [18] Ali-Toudert, F. and Mayer, H. (2006). Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate, *Building and Environment* (41) 94-108.
- [19] Nunez M, Oke T. (1977). The energy balance of an urban canyon, *Journal of Applied Meteorology* (16) 11-19.
- [20] Yoshida A, Tominaga K, Watani S. Field measurements on energy balance of an urban canyon in the summer season, *Energy and Building* (15) 417-423.
- [21] Djedjig, R. (2013). Impacts des enveloppes végétales à l'interface bâtiment microclimat urbain, Thèse de Doctorat, Université de la Rochelle, France.
- [22] Lehtihet K., Izard J-L., Marcillat, J. and Destobbeleire G. Evaluation of microclimatic effects on urban sites by means of insitu measurements, thermographic study and numerical simulation. First International Workshop on Architectural and Urban Ambient Environment, 6-8 février, 2002, Nantes.
- [23] www.energieplus-lesite.be (Consulté le 06.06.2016)
- [24] Shih N-J and Huang N-S. 2001. An analysis and simulation of curtain wall reflection glare. *Building and Environment*, (36) 619–626.
- [25] Chabane I. (2006). Evaluation de la qualité vécue des environnements hermétiques en mur-rideau de verre-cas d'étude: immeuble de bureaux à Alger. Mémoire de Magistère, EPAU, Alger, Algérie.