HAL
open science

EVALUATION THERMIQUE DE MATERIAUX DE REVETEMENT DES COURS OASIS

Ghid Karam, Maïlys Chanial, Martin Hendel, Laurent Royon

To cite this version:

Ghid Karam, Maïlys Chanial, Martin Hendel, Laurent Royon. EVALUATION THERMIQUE DE MATERIAUX DE REVETEMENT DES COURS OASIS. XVeme Colloque International Franco-Quebecois, Jun 2022, Paris, France. hal-03778874

HAL Id: hal-03778874

https://hal.science/hal-03778874v1

Submitted on 16 Sep 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

XVème Colloque International Franco-Québécois
Ville et transition
15-17 juin 2022
Paris, France

CIFQ2022 / ART-67

EVALUATION THERMIQUE DE MATERIAUX DE REVETEMENT DES COURS OASIS

Ghid **KARAM** [a,b*], Maïlys **CHANIAL** [a,c], Martin **HENDEL** [a,b], Laurent **ROYON** [a]

[a] *Université Paris Cité, CNRS, LIED, UMR 8236, F-75013, Paris, France*
[b] *Univ Gustave Eiffel, ESIEE Paris, département SEN, F-93162, Noisy-le-Grand, France*
[c] *Mairie de Paris, Directions de la Propreté et de l'Eau & de la Voirie et des Déplacements, Paris, France*

RÉSUMÉ

Le projet FEDER OASIS mené par la Ville de Paris a pour ambition de lutter contre les vagues de chaleur en ville, en transformant des cours d'école en îlots de fraîcheur urbain notamment en désartificialisant les sols et en augmentant la fraction végétalisée des cours. Le revêtement initial des cours, généralement composé d'une structure de trottoir asphalte, a été remplacé par différentes solutions alternatives. Cet article se concentre sur les performances thermiques de ces nouveau matériaux mis en œuvre au sein des cours OASIS, ainsi que de l'impact de leurs propriétés au vu des objectifs de rafraîchissement urbain : confort thermique et atténuation du phénomène d'ilôt de chaleur urbain.

Mots Clés : *matériaux, propriétés thermiques, enceinte climatique, îlot de chaleur urbain, canicule*

NOMENCLATURE

Symboles :

H	flux convectif W/m^2
h	coefficient convectif (W/m²/K)
ICU	îlot de chaleur urbain
L	rayonnement incident de grande longueur d'onde
R_n	rayonnement net, W/m²
S	rayonnement incident de courte longueur d'onde
T_a	température de l'air,°C
T_{mrt}	température moyenne radiante, °C
T_s	température de surface, °C
UTCI	Universal Thermal Climate Index

Lettres grecques :

α	albédo
ε	émissivité
φ	densité de flux, W/m^2
σ	constante de Stefan-Boltzmann W/(m^2.K^4)

Indices / Exposants :

rad	radiatif
g	global

1. INTRODUCTION

A l'horizon 2100, la région parisienne sera témoin d'une augmentation des vagues de chaleur à la fois en fréquence et en intensité [1]. En milieu urbain, ces évènements amplifient le phénomène d'îlot de chaleur urbain (ICU), avec des répercussions conséquentes sur la santé des populations, notamment en termes de surmortalité et de comorbidité accrues [2]. La prévention de ces risques passe donc par la mise en place de techniques de rafraîchissement urbain à différentes échelles de la ville : utilisation de matériaux frais, arrosage des rues, création d'espaces végétalisés, etc. [3][4]. Dans le cadre sa Stratégie de Résilience adoptée en 2017, la Ville de Paris a décidé de mettre en place un réseau d'ilôts de fraicheur urbains en transformant ses cours d'écoles.

Aujourd'hui, les cours d'écoles parisiennes sont des surfaces peu végétalisées, imperméables et minéralisées, concourant au phénomène d'îlot de chaleur urbain et à l'augmentation du stress thermique des usagers. Le projet OASIS vise à désartificialiser et débitumer les sols des cours d'écoles et augmenter la surface perméable. Dans le cadre du projet européen FEDER UIA OASIS, 10 cours d'école pilotes font l'objet d'un suivi scientifique pluridisciplinaire, comprenant notamment une évaluation de l'impact microclimatique et thermique des transformations opérées en 2020. En parallèle, le

* auteur correspondant
Adresse électronique : ghid.karam@esiee.fr

Copyright © 2022 CIFQ

comportement thermique des revêtements originaux et de remplacement des cours a été étudié en laboratoire soumis à des conditions caniculaires. Pour cela, un dispositif expérimental utilisé pour caractériser le comportement thermique de revêtements urbains parisiens avec et sans arrosage est utilisé [5]–[7]. Les résultats de ces travaux sont présentés ici.

2. MATERIAUX ET METHODE

Un premier bilan thermique à l'échelle de la surface d'un matériau (Figure 1) permet de dégager des leviers d'actions afin de minimiser le stress thermique dans l'environnement immédiat.

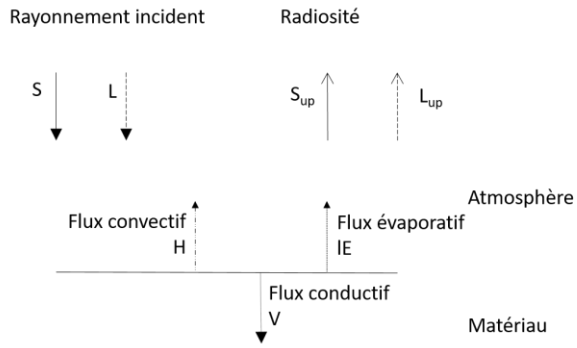

Figure 1 : Bilan thermique de surface d'un matériau de revêtement.

S et *L* correspondent respectivement à l'irradiance de courte (0,3-3µm) et grande (3-100 µm) longueur d'onde, S_{up} et L_{up} aux radiosités de courte et grande longueur d'onde. *H* est la densité de flux convectif vers l'atmosphère, *V* la densité de flux conductif et *lE* le flux de chaleur latente dû à l'évapo(transpi)ration de l'eau présente en surface ou transpirée par les végétaux (cas du gazon par exemple).

Dans le cas général, le bilan énergétique de la surface s'écrit comme suit :

$$R_n = H + V + lE \quad (1)$$

avec R_n le rayonnement net exprimé par :

$$R_n = (S + L) - \left(S_{up} + L_{up}\right) \quad (2)$$

A partir de (2), (1) peut se réécrire comme suit :

$$S + L = S_{up} + L_{up} + H + V + lE \quad (3)$$

La radiosité $S_{up} + L_{up}$ peut être déterminée à partir de l'albédo α de la surface et de son émissivité ϵ :

$$R_n = (1 - \alpha)S + \epsilon(L - \sigma T_s^4) \quad (4)$$

On obtient alors :

$$(1 - \alpha)S + \epsilon(L - \sigma T_s^4) = H + V + lE \quad (5)$$

Dans le cas particulier d'un matériau sec, le flux de chaleur latente *lE* est nul.

On peut par ailleurs expliciter le terme convectif *H* comme la convection d'une surface plane :

$$H = h(T_S - T_a) \quad (6)$$

Avec *h* le coefficient d'échange convectif.

Du point de vue du rafraîchissement, deux approches peuvent être envisagées : atténuation de l'ICU ou réduction du stress thermique de l'usager.

Pour réduire l'intensité de l'ICU, on cherche à réduire l'échauffement de l'air en période nocturne, c'est-à-dire le terme *H*. Celui-ci dépend directement de la température de surface T_S qui dépend elle-même de la chaleur emmagasinée en journée. Ce stock peut être modulé en augmentant l'albédo, réduisant ainsi les gains solaires diurnes, et en limitant le flux conductif *V*. Ce dernier dépend du gradient de température vertical d'une part, et de la conductivité du matériau d'autre part. Le gradient est lui aussi influencé en journée par l'albédo de surface. Réduire l'intensité de l'ICU revient donc à favoriser des matériaux réfléchissants et à faible effusivité. On peut aussi chercher à augmenter l'évapo(transpi)ration du matériau, soit par arrosage ou par végétalisation/désimperméabilisation.

Pour améliorer le stress thermique des usagers, il faut réduire l'échauffement atmosphérique, mais aussi la radiosité du matériau aux moments de fréquentation, c'est-à-dire en journée pour une cour d'école. Cette dernière dépend quant à elle d'une part de la température de surface pour la composante L_{up}, mais aussi fortement de l'albédo pour la composante S_{up} en journée. L'intérêt de revêtements réfléchissants est donc à nuancer au regard de l'amélioration du confort thermique qui peut être pénalisé par leur radiosité plus importante [8]. En revanche, l'évapo(transpi)ration du matériau est bénéfique pour cet objectif également.

Dans le cadre du projet OASIS, le revêment original, majoritairement composé d'une structure de trottoir asphalte (2 cm d'asphalte posés sur une fondation de 10 cm de béton), présente généralement un albédo compris entre 0,11 et 0,13 d'après des mesures effectuées sur site selon la norme ASTM E1918-16 [9]. En solution de remplacement, des revêtements végétalisés, perméables et/ou réfléchissants sont considérés de sorte à répondre aux deux objectifs précédents.

L'étude du comportement thermique des échantillons en enceinte permet d'observer l'évolution de T_s ainsi que les dynamiques de stockage de la chaleur des matériaux.

La Figure 2**Erreur ! Source du renvoi introuvable.** représente la structure des matériaux alternatifs employés dans les cours OASIS et étudiés en laboratoire. Chaque éprouvette cylindrique mesure 32 cm de hauteur pour un diamètre de 16 cm et est isolée latéralement et en sous-face par une couche de mousse polyuréthane de 5 cm d'épaisseur. Les échantillons sont instrumentés de façon à observer simultanément la température et le flux thermique à différentes profondeurs sauf pour la terre végétale où seule la température est mesurée. Les

Copyright © 2022 CIFQ

prodondeurs des thermocouples et capteurs de flux sont indiquées sur la Figure 2.

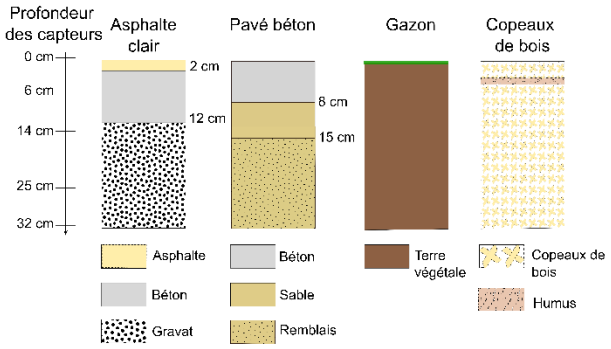

Figure 2: Matériaux OASIS étudiés en laboratoire

En surface, un capteur de flux radiatif φ_{rad} et un capteur de flux global φ_g permettent d'estimer le rayonnement incident et le flux convectif à la surface du matériau selon :

$$S + L = \frac{\varphi_{rad}}{0{,}95} + \sigma T_s^4 \quad (5)$$

$$H = \varphi_{rad} - \varphi_g \quad (6)$$

Avec σ la constante de Stefan Boltzmann et 0,95 la valeur de l'émissivité du capteur.

Les échantillons sont soumis à des cycles diurnes et nocturnes reproduisant les conditions de température de l'air et d'humidité typiques des canicules parisiennes reportées dans le Tableau 1 : Caractéristiques des phases diurnes et nocturnes en enceinte climatique Les valeurs de températures et d'humidité relatives sont des valeurs de consigne.

Tableau 1 : Caractéristiques des phases diurnes et nocturnes en enceinte climatique

	Durée (heure)	*Température (°C)*	*Humidité Relative (%)*
Jour	8	35	35
Nuit	16	25	70

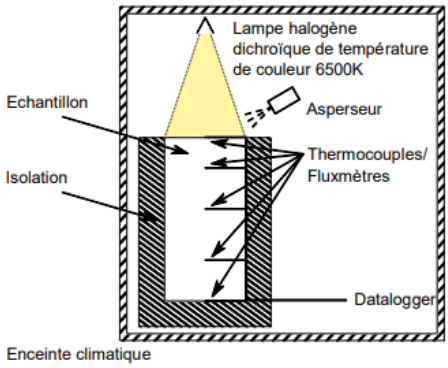

Figure 3: Schéma du dispositif expérimental [5].

Les matériaux mis en place lors des travaux de transformation ont été instrumentés avec des capteurs de flux de chaleur et de température posés à l'interface entre le nouveau revêtement et le socle structurel.

Suite au remplacement d'une ampoule, le gazon est soumis à une irradiance plus importante que les autres échantillons, de l'ordre de 1500W/m² contre 1100 W/m² pour les autres matériaux. Les termes du bilan thermique sont donc normalisés par le rayonnement incident. Pour autant, les dynamiques d'évolution des températures et des flux de chaleur sont conservées.

3. RESULTATS

3.1. Albédo et températures de surface

Le Tableau 2 reporte les valeurs d'albédo mesurées au spectrophotomètre UV-Vis-NIR Cary 5000 pour les matériaux étudiés en enceinte et pour la composition spectrale de la lampe halogène utilisée. Des mesures complémentaires de terrain ont été réalisées au sein des cours OASIS, selon la norme ASTM E1918-16 [9].Les matériaux ont dans l'ensemble des albédos supérieurs à celui de l'asphalte conventionnel. Les valeurs d'émissivité reportées dans le Tableau 2 sont approximées et tirées de la littérature [6], [10].

Tableau 2 : Albédo et émissivité

	Asphalte clair	*Pavé béton*	*Gazon*	*Copeaux*
Albédo	0,39	0,24	0,25	0,58
Emissivité	0,9	0,9	0,9	0,9

La valeur de l'albédo des copeaux de bois mesurée au spectrophotomètre est nettement supérieure à celle obtenue *in situ*, compris entre 0,22 et 0,28. Cette différence pourrait être imputable à une épaisseur de copeaux utilisée en laboratoire insuffisante pour être opaque et/ou insuffisamment compactée. Une autre source d'écart est la différence de composition puisqu'il n'y a pas de terre végétale en laboratoire contrairement au terrain, celle-ci étant absorbante et réduisant donc a priori l'albédo du mélange terre-copeaux.

La Figure 4 représente les températures de surface des matériaux étudiés. En journée, la pelouse saturée en eau avant expérimentation présente la température de surface la moins élevée avec un maximum de l'ordre de 40°C, ainsi qu'une dynamique d'échauffement lente, et ce malgré une irradiance plus importante que les autres échantillons. Cela s'explique d'une part par l'évapotranspiration des végétaux et du sol ainsi que la forte inertie de la terre végétale gorgée d'eau.

A l'inverse, l'échantillon de copeaux de bois présente la température de surface la plus élevée en journée, allant jusqu'à 55°C, et l'échauffement le plus rapide. Ce comportement tient à l'absence d'évapotranspiration notable d'une part et à la faible effusivité du matériau d'autre part. Il est à noter que la température de surface

Copyright © 2022 CIFQ

semble se stabiliser à 55°C, indiquant que la surface de l'échantillon atteint un état d'équilibre.

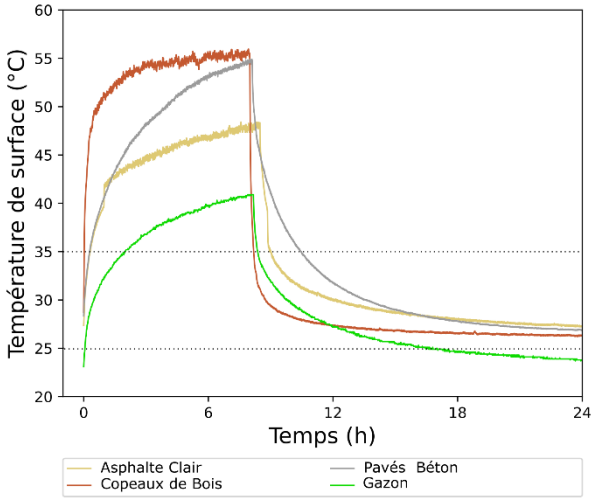

Figure 4 : Températures de surface. Les températures de consigne diurne (35°C) et nocturne (25°C) sont matérialisées par les lignes en pointillés.

Les pavés béton atteignent la même température de surface que les copeaux de bois en fin de phase diurne, ayant un albédo de terrain comparable mais avec un temps caractéristique beaucoup plus long et sans stabilisation en fin de cycle jour. Cela témoigne de sa forte effusivité, lui permettant d'amortir l'apport de chaleur subit en phase diurne et qui parvient à compenser son albédo plus faible.

Enfin, l'asphalte clair est plus frais que les copeaux ou les pavés en journée et présente une chauffe lente également. Cela tient d'une part à son albédo élevé et à la forte effusivité de sa fondation béton d'autre part.

En phase nocturne, la température de surface de tous les matériaux diminue jusqu'à atteindre la température initiale du début d'expérimentation. Toutefois, la vitesse de refroidissement des copeaux de bois est nettement plus élevée que celle des autres matériaux avec une chute de la température de surface quasi instantanée à l'extinction de la lampe. Cela confirme sa faible accumulation de chaleur en journée.

3.2. Températures à 6 cm de profondeur

Les températures de subsurface à 6 cm de profondeur (copeaux de bois et pelouse) sont plus fraîches que les matériaux minéraux, avec des températures de l'ordre de 30-35°C en phase jour et 25°C en phase nuit alors que les matériaux minéraux atteignent respectivement 50°C et 40°C pour l'asphalte clair et les pavés béton en phase jour avant de retomber à 30°C et 27°C en phase nuit.

3.3. Flux de chaleur

Les flux de chaleur mesurés à 6 et 14 cm de profondeur sont reportés à la Figure 6, hormis pour l'échantillon de gazon.

Les flux ont des allures similaires avec un cycle de charge et de décharge correspondant aux phases diurne et

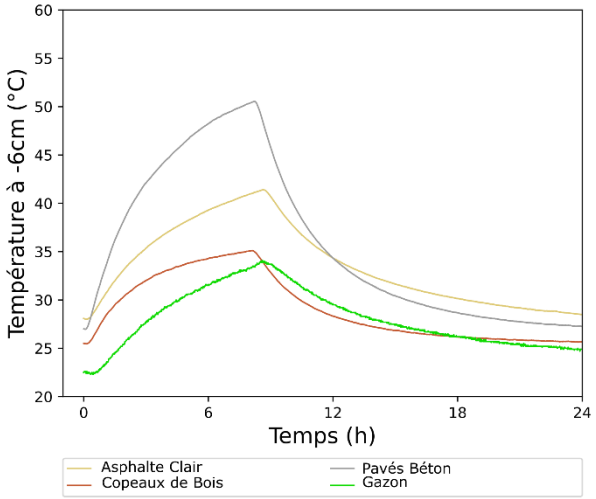

Figure 5 : Températures mesurées à 6 cm

nocturne de l'expérimentation. Pour les revêtements minéraux, les flux de chaleur sont plus importants à une profondeur de 6 cm pour le pavé béton que pour l'asphalte clair, suivant ainsi les différences de températures de surface elles-mêmes liées aux différences d'albédo. Le flux au sein de l'échantillon pavé béton est sensiblement plus faible à 14 cm qu'à 6 cm en raison de la présence d'une sous couche de sable et de gravats poreuse plus isolante située en dessous du pavé. A l'inverse, la fondation en béton de l'asphalte clair atteint un régime stationnaire permettant aux flux à 6 et 14 cm de s'égaliser.

C'est de nouveau la faible conductivité attribuée notamment à la porosité du milieu qui explique les faibles flux de chaleur au sein de l'éprouvette de copeaux de bois. L'observation des flux de chaleur vient étayer la distribution de température observée au sein des différents échantillons de matériaux. Notamment, la porosité des copeaux de bois explique la différence marquée entre la température de surface et les températures à 6 cm de profondeur.

Ces résultats sont à nuancer au regard de l'implémentation du matériau in situ. En effet, les copeaux de bois sont souvent mélangés à de la terre végétale pour former un paillage, ce qui contribue à une augmentation de la conductivité thermique, mais aussi à une réduction de l'albédo de surface, la terre végétale étant plus absorbante. Outre la porosité, le matériau présente une couche de compostage dense et humide de 1 à 2 cm d'épaisseur qui se forme à l'usage à 6-7 cm de profondeur sous la surface. Les copeaux de bois ont été soumis secs au cycle de mesure. Une modification de l'humidité du milieu au préalable devrait se répercuter sur la mesure des températures. L'allure des courbes de flux de chaleur est similaire à celles observées in situ,

Copyright © 2022 CIFQ

contrairement à la température au sein des matériaux, qui dépend de l'ensoleillement de la surface.

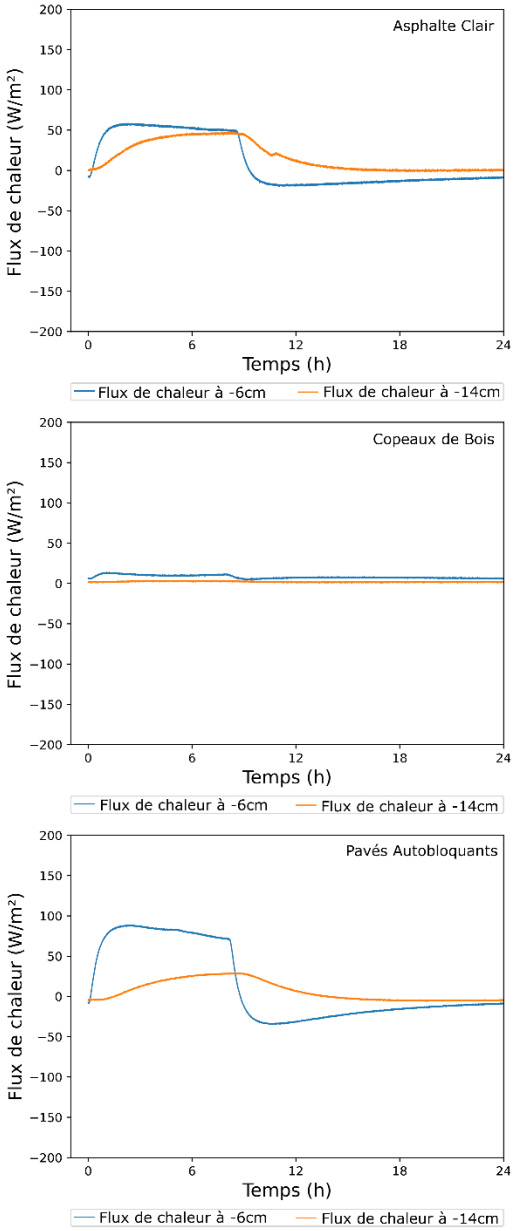

Figure 6 : Flux de chaleur à 6 et 14 cm de profondeur

4. DISCUSSION

L'observation du comportement thermique des matériaux en enceinte climatique permet de discriminer le choix de revêtement à implémenter en fonction de l'objectif de rafraîchissement.

Tableau 3 : Radiosité moyenne des différents matériaux

	Asphalte clair	*Pavé béton*	*Gazon*	*Copeaux*
$j: \frac{S_{up} + L_{up}}{S + L}$	0,75	0,63	0,47	0,90
$n: \frac{L_{up}}{S + L}$	0,43	0,38	0,3	0,41

Le Tableau 3 reporte l'estimation de la radiosité aux petites et grandes longueurs d'ondes (respectivement S_{up} et L_{up}) calculées pour les différents matériaux testés en enceinte, pour les phases diurne (ligne *j*) et nocturne (ligne *n*). Le flux incident n'étant pas identique lors des expérimentations en raison d'ampoules arrivées en fin de vie, nous normalisons avec le rayonnement incident $S + L$ pour comparer les résultats.

4.1. ICU

Dans le cas de l'atténuation du phénomène d'ilot de chaleur urbain nocturne, l'objectif est de diminuer la restitution de la chaleur accumulée au cours de la journée par les matériaux. Cela revient d'une part à minimiser le flux de chaleur stocké en journée par le matériau, et à abaisser les températures de surface diurnes et nocturnes du matériau afin de réduire l'échauffement de l'air ambiant par convection.

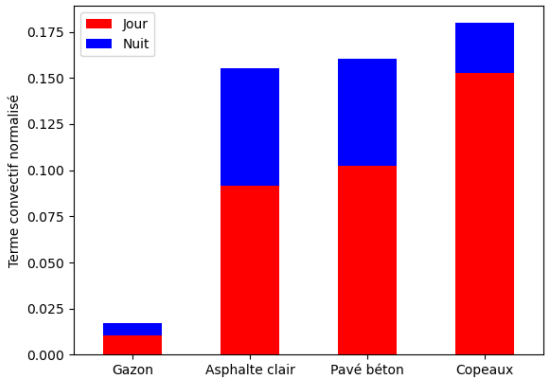

Figure 7 : Comparaison des termes convectifs nocturne et diurne pour chaque matériau. L'intégrale du flux convectif est normalisée par celle de l'irradiance.

La Figure 4 montre que les matériaux minéraux ainsi que les copeaux de bois atteignent en phase nocturne une température de surface équivalente, de l'ordre de 27°C, contrairement au gazon, dont la température de surface passe en deçà des 25°C. Toutefois, on observe une inertie thermique élevée pour les matériaux minéraux, qui restituent lentement la chaleur accumulée au cours de la journée contrairement aux copeaux de bois, qui ne stockent pas de chaleur, et se refroidissent très vite dès la fin de la phase diurne. Même si la contribution nocturne des copeaux de bois est très faible par rapport aux matériaux minéraux, leur contribution totale à l'échauffement de l'air reste supérieure sur l'ensemble des phases diurnes et nocturnes. d'après.la Figure 7.

4.2. Stress thermique

Parmi les matériaux étudiés les copeaux présentent la radiosité la plus importante, suivis par l'asphalte clair, puis gazon et pavé béton qui sont équivalents en journée.

Copyright © 2022 CIFQ

Une première remarque concerne la radiosité en journée des copeaux de bois, nettement supérieure à celle des autres matériaux. Celle-ci dépend directement de l'albédo dont la mesure a été évoquée précédemment. En effet, la radiosité calculée avec les albédos mesurés *in situ* est de l'ordre de 70%. De même, la montée en température de surface montre que la surface absorbe une partie conséquente du rayonnement.

Ainsi, on constate bien que le bénéfice de l'asphalte clair en termes de température de surface est obtenu en échange d'une radiosité importante. Le partage entre ces deux impacts nécessite une simulation plus précise sur le stress thermique des usagers.

Au regard de ces critères, les copeaux de bois ne semblent pas indiqués pour un usage en plein soleil dans la mesure où ils cumulent température de surface élevée ainsi que forte radiosité. Le gazon semble être le revêtement le plus indiqué, dans la mesure où il présente les plus faibles températures de surface ainsi qu'une faible radiosité.

5. CONCLUSION

L'étude du comportement thermique des matériaux de revêtement en enceinte permet d'affiner la stratégie de rafraîchissement en fonction du levier à actionner. Si l'objectif vise à améliorer le confort thermique des usagers en journée, la réduction de la température ressentie passe par la réduction de la température de surface des matériaux, mais aussi de la radiosité. L'étude menée en laboratoire montre que la végétalisation des surfaces est la stratégie la plus efficace en terme de réduction de stress thermique. Les surfaces à albédo élevé risquent d'augmenter la température moyenne radiante et de créer une gêne optique pour les usagers même si la température de surface reste basse, ce qui est notamment le cas de l'asphalte clair.

A l'inverse, si l'atténuation de l'effet d'îlot de chaleur urbain est prioritaire, les matériaux à faible inertie, minimisant le stockage de la chaleur accumulée au cours de la journée sont plus indiqués, notamment les copeaux de bois, le gazon et dans une moindre mesure l'asphalte clair. Les matériaux à albédo élevés sont de même plébiscités car ils limitent l'absorption de rayonnement. Cependant, leur efficacité suppose d'une part que l'albédo est stable dans le temps, et d'autre part que le rayonnement incident peut être réfléchi vers la voûte céleste sans être absorbé par un obstacle tel qu'un bâtiment qui piégerait la chaleur réfléchie, c'est-à-dire que le facteur de vue du ciel est important.

Les matériaux ont été étudiés sous protocole sec, toutefois les températures de surface peuvent être abaissées par humidification préalable ou arrosage grâce à l'évaporation de l'eau [6].

L'étude des flux de chaleur au sein des échantillons végétaux permettra de mieux comprendre la dynamique de stockage et de libération de la chaleur. La prise en compte de l'aspect sec, humide ou saturé en eau est de même essentielle à la compréhension des phénomènes. L'étude des matériaux irrigués et mouillés permettrait de compléter l'analyse des comportements thermiques des matériaux des cours Oasis. L'étude des matériaux frais s'étendra aux matériaux poreux et granulaires, notamment en ce qui concerne leurs comportements hydrologiques er leur capacité d'évapotranspiration, et de rétention d'humidité. Les éventuels effets cumulatifs pourront être étudiés en soumettant les matériaux à des cycles successifs.

Enfin, la comparaison des résultats d'expérimentations avec les mesures de terrain permet d'appréhender les phénomènes de transposition d'échelle et l'intégration écosystémique des solutions choisies.

REMERCIEMENTS

Ces travaux ont été financés dans le cadre du projet FEDER UIA-0344-OASIS.

RÉFÉRENCES

[1] A. Lemonsu, R. Kounkou-Arnaud, J. Desplat, J. L. Salagnac, et V. Masson, « Evolution of the Parisian urban climate under a global changing climate », *Clim. Change*, vol. 116, nº 3-4, p. 679-692, févr. 2013.

[2] A. Gasparrini *et al.*, « Projections of temperature-related excess mortality under climate change scenarios », *Lancet Planet. Heal.*, vol. 1, nº 9, p. e360-e367, 2017.

[3] M. Taleghani, « Outdoor thermal comfort by different heat mitigation strategies- A review », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81. Elsevier Ltd, p. 2011-2018, 01-janv-2018.

[4] M. Hendel, P. Cooling, E. A. Review, et M. Hendel, « Pavement-Watering for Cooling the Built Environment : A Review To cite this version : Pavement-Watering for Cooling the Built Environment : A Review », 2017.

[5] M. Hendel, S. Parison, A. Grados, et L. Royon, « Which pavement structures are best suited to limiting the UHI effect? A laboratory-scale study of Parisian pavement structures », *Build. Environ.*, vol. 144, nº August, p. 216-229, 2018.

[6] S. Parison, M. Hendel, A. Grados, et L. Royon, « Analysis of the heat budget of standard, cool and watered pavements under lab heat-wave conditions », *Energy Build.*, vol. 228, p. 110455, 2020.

[7] S. Parison, M. Hendel, A. Grados, K. Jurski, et L. Royon, « A lab experiment for optimizing the cooling efficiency and the watering rate of pavement-watering », *Urban Clim.*, vol. 31, nº October 2019, p. 100543, 2020.

[8] P. J. C. Schrijvers, H. J. J. Jonker, S. R. de Roode, et S. Kenjereš, « The effect of using a high-albedo material on the Universal Temperature Climate Index within a street canyon », *Urban Clim.*, vol. 17, p. 284-303, sept. 2016.

[9] ASTM E1918-16, « Standard Test Method for Measuring Solar Reflectance of Horizontal and Low-Sloped Surfaces in the Field », *ASTM Int.*, vol. i, nº Reapproved 2015, p. 18-20, 2016.

[10] R. Pitarma et J. Crisóstomo, « An approach method to evaluate wood emissivity », *J. Eng. (United Kingdom)*, vol.

Copyright © 2022 CIFQ

2019, 2019.

Copyright © 2022 CIFQ