



**EduBIM2024 : Données,
intelligences et nature de la ville
durable / ENSA de Paris Val de
Seine**

10ème édition de la Journée de la Recherche et
de la Journée Enseignement des rencontres
EduBIM

27-28 nov. 2024 Paris (France)

ATELIER
FRANCK
BOUÏTTE

LABORATOIRE
NAVIER

ÉCOLE NATIONALE DES
PONTS
ET CHAUSSEES



Université
Gustave Eiffel

sense CITY

ESIEE
PARIS
ÉCOLE DE
ÉDUCATION



Comprendre les déterminants du ressenti thermique humain à l'aide de l'intelligence artificielle : une expérience participative

Matteo Migliari^{1,2,*}, Kazuki Hayashi^{1,3}, Yan Ulanowski⁴, Stéphane Laporte⁴, Martin Hendel^{5,6}, Sophie Parison^{5,6}, Julien Despax², Loïc Chesne², and Olivier Baverel¹

¹ Laboratoire Navier, UMR 8205, École des Ponts, CNRS, UPE, 77420 Champs-sur-Marne, France

² Atelier Franck Bouitté, 75119 Paris, France

³ Kyoto University, 606-8501 Kyoto, Japan

⁴ Sense-City, Laboratoire IMSE, Département COSYS, Université Gustave Eiffel, 77420 Champs-sur-Marne, France

⁵ LIED, UMR 8236, Université Paris Cité, CNRS, 75013 Paris, France

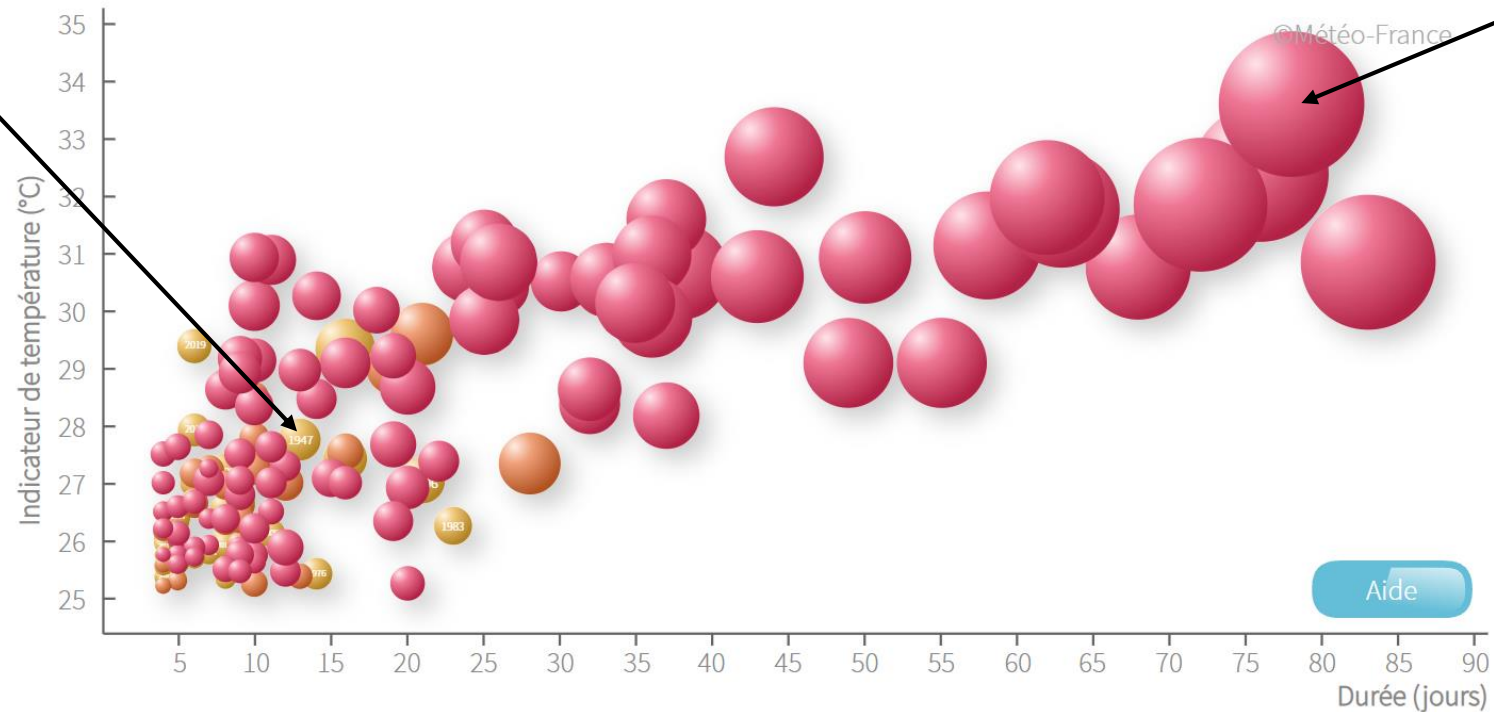
⁶ ESIEE Paris, département SEED, Université Gustave Eiffel, 93162 Noisy-le-Grand, France

Conférencier: Matteo Migliari (matteo.migliari@enpc.fr)

Le Contexte

Vagues de chaleur : simulations pour différents scénarios et différents horizons

Climat actuel



Climat en 2100

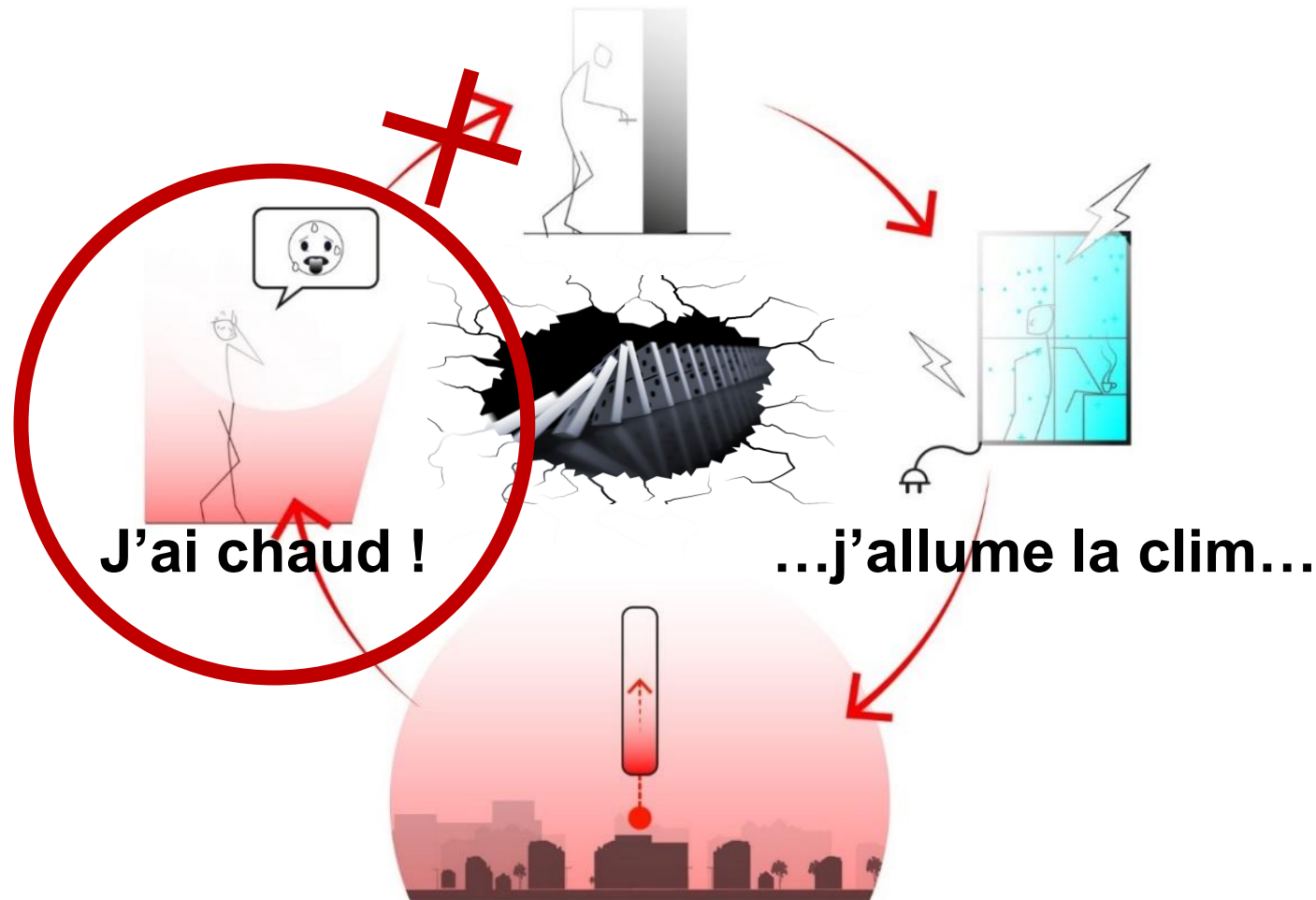


Comparer les scénarios 2021-2050 RCP 2.6 Épisodes observés (1947-2018)

Comparer les horizons 2071-2100 RCP 8.5

Le Contexte

Alors, je rentre chez moi...



La production du froid individuel n'est pas la bonne stratégie !

La solution à trouver est collective... en partant par l'espace public

...et je rejette de la chaleur à l'extérieur !

Comment aménage-t-on les espaces extérieurs pour réduire le stress thermique ?

Le Contexte



1) Lutter contre les ICU

2) +200 indices pour calculer le confort thermique

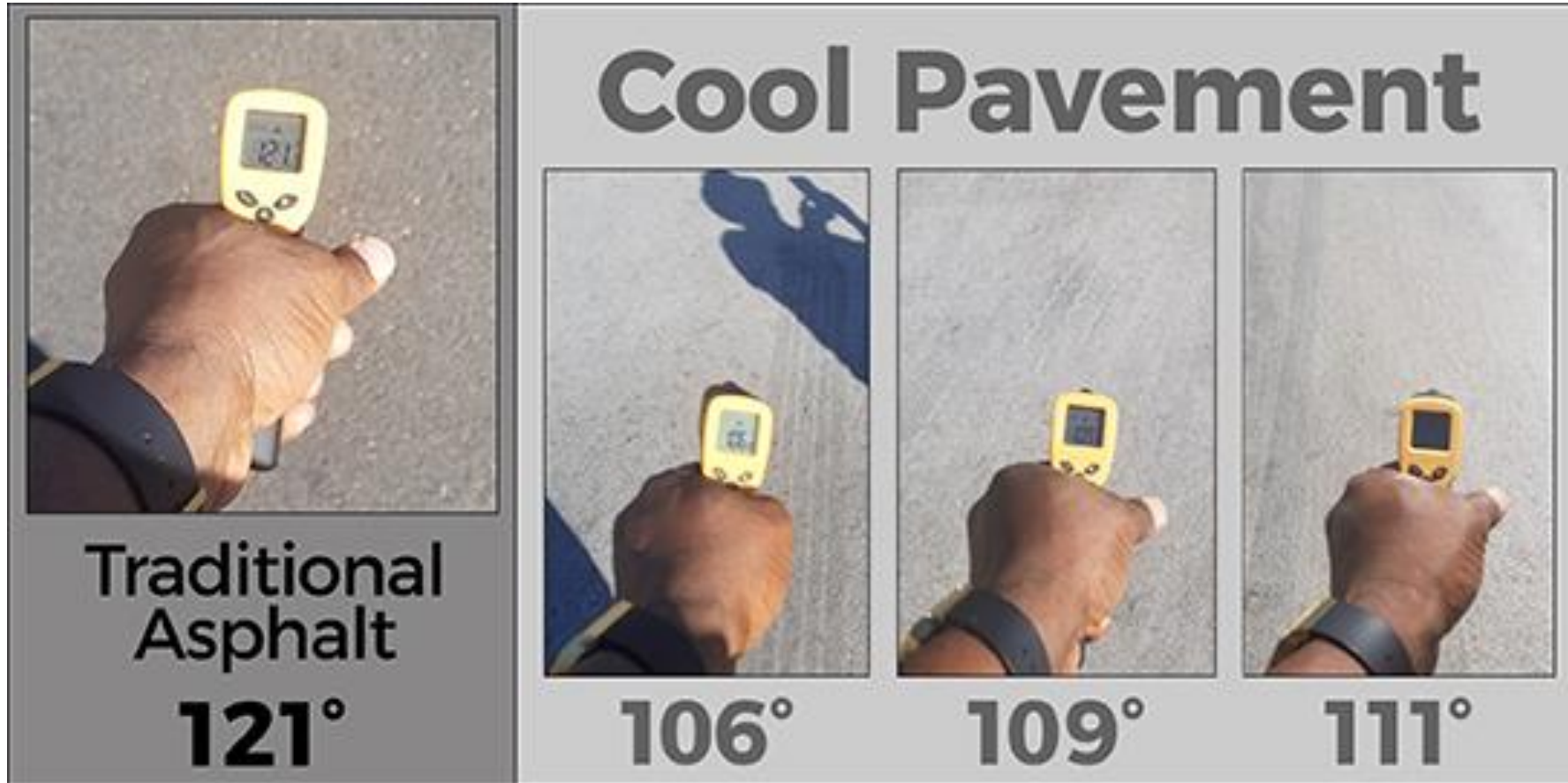
3) Favoriser la ventilation naturelle en climat chaud

4) Augmentation systématique des albedos

5) Planter X mille arbres



Le Contexte



= 50 °C

T_{air}

>

= 43 °C

T_{air}

actualité

La Métropole teste une peinture anti-chaueur pour rafraîchir la ville

Ma ville au quotidien

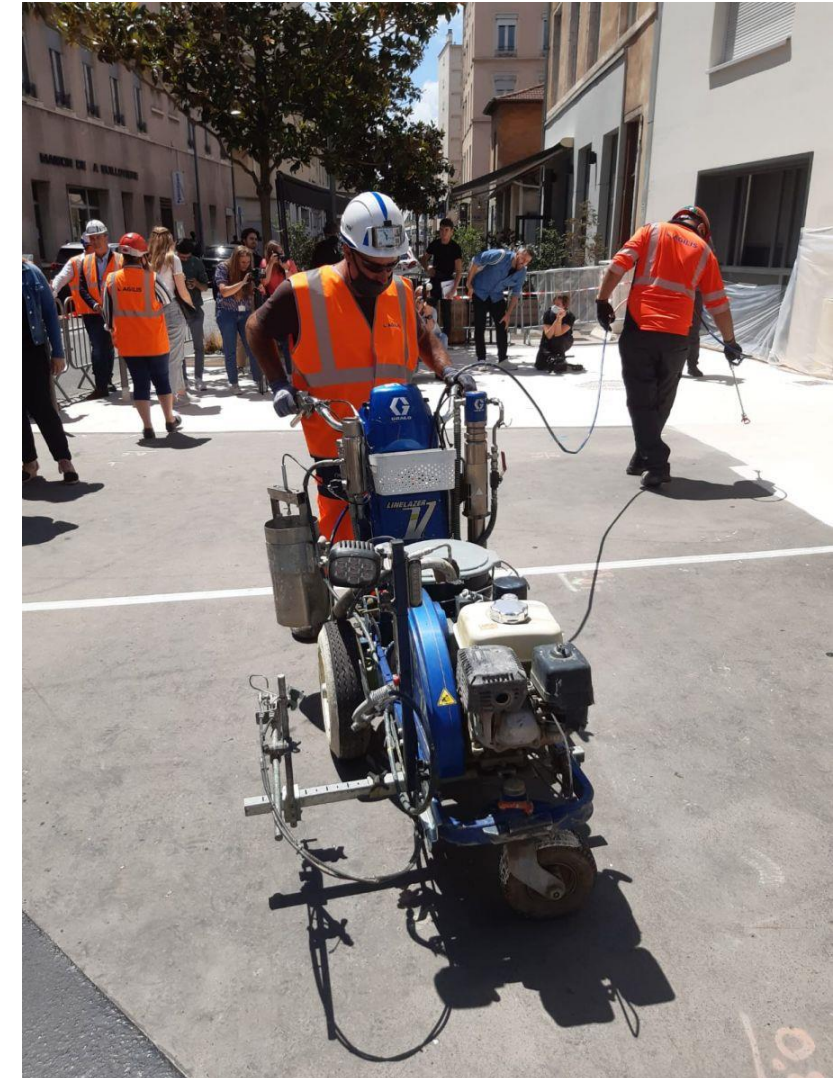
Publié le 8 juillet 2021



Pour lutter contre les effets des chaleurs excessives en ville, la Métropole de Lyon teste une peinture pour les sols aux propriétés anti-chaueur. Un trottoir du 7^e arrondissement a été repeint et sera scruté pendant un an pour étudier l'impact du produit.

Pendant la période estivale, la chaleur peut vite devenir étouffante dans certaines rues du centre-ville. En cause : le manque d'ombre et de verdure, la circulation automobile et les sols de couleur sombre qui absorbent et accentuent la chaleur. Réduire ces îlots de chaleur est un véritable enjeu de bien-être au quotidien. La Métropole teste différentes solutions pour améliorer la situation.

La peinture a été appliquée sur 100m² de trottoir à l'angle des rues Béchevelin, St Michel et Gilbert Dru à Lyon 7.



Le Contexte

En accord avec le choix de la ville de Lyon, ChatGPT affirme que se promener sur un trottoir clair est plus confortable d'un trottoir sombre pendant une vague de chaleur



In hot summer spells, choosing a clear or light-colored path would be better for improving outdoor thermal comfort. This is because dark-colored surfaces, such as dark pavement or dark-colored pathways, tend to absorb more heat from the sun and can become significantly hotter than lighter-colored surfaces.

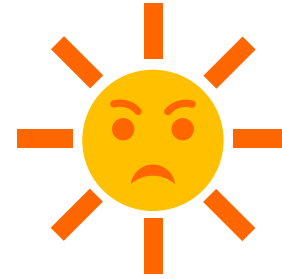


Dark surfaces absorb more solar radiation, which increases their temperature and can result in higher surface temperatures. This can create uncomfortable conditions for pedestrians, as the dark surface can radiate heat and contribute to the overall heat island effect in urban areas. Heat islands are urban areas that experience higher temperatures compared to surrounding rural areas due to the accumulation of heat in built-up surfaces like roads, pavements, and buildings.

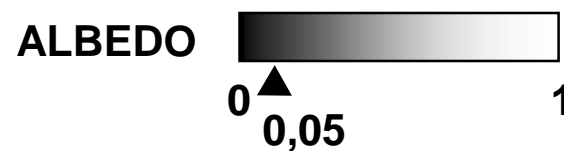
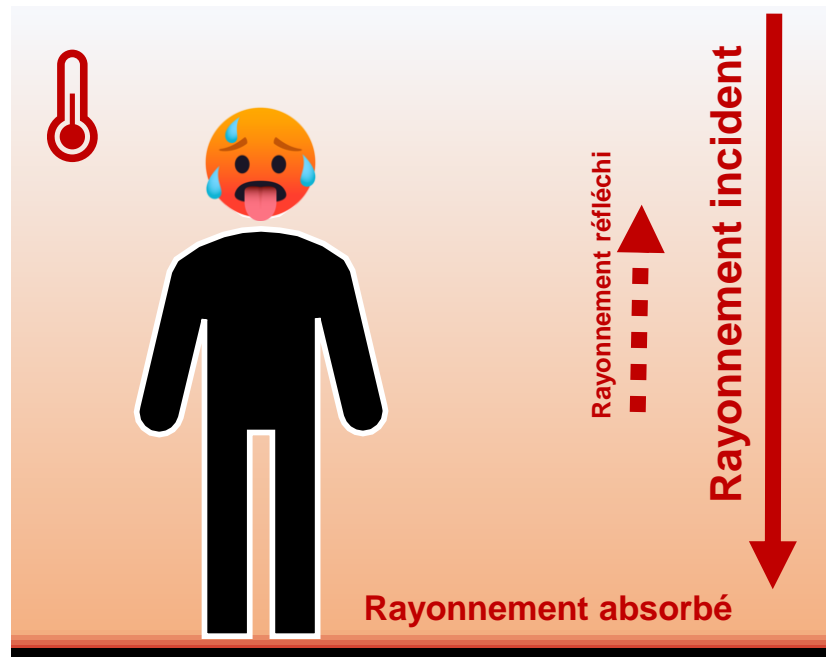
On the other hand, lighter-colored or clear surfaces reflect more solar radiation, which can help reduce the temperature of the surface and the surrounding area. This can result in a more comfortable walking surface, particularly during hot summer spells when outdoor thermal comfort is a concern.

In conclusion, for improving outdoor thermal comfort in hot summer spells, it is generally better to choose a clear or light-colored path over a dark-colored path to minimize heat absorption and reduce the risk of heat-related discomfort.

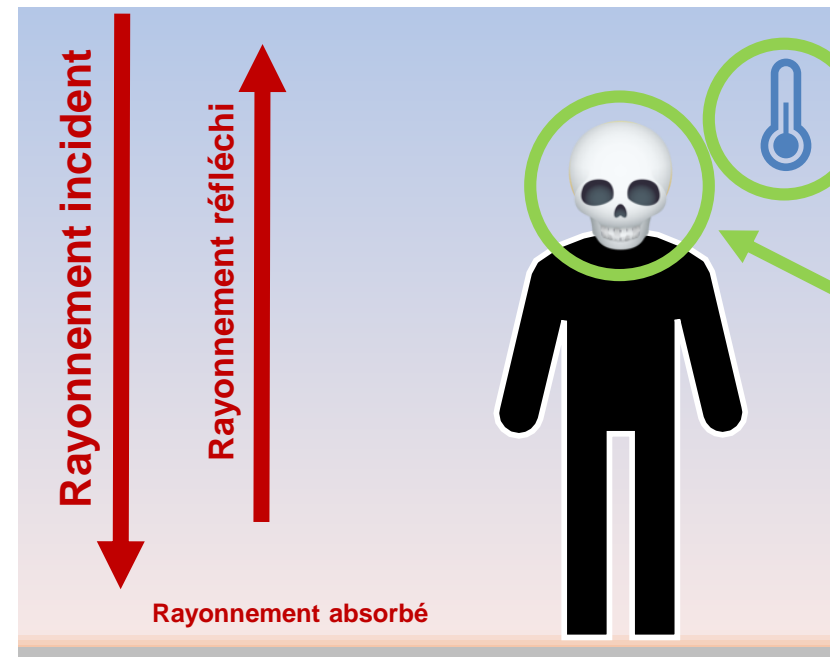
Le Contexte



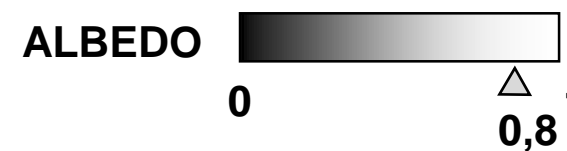
Choix de la personne #1 : parcours **SOMBRE**



Choix de la personne #2 : parcours **CLAIR**



POURQUOI ?



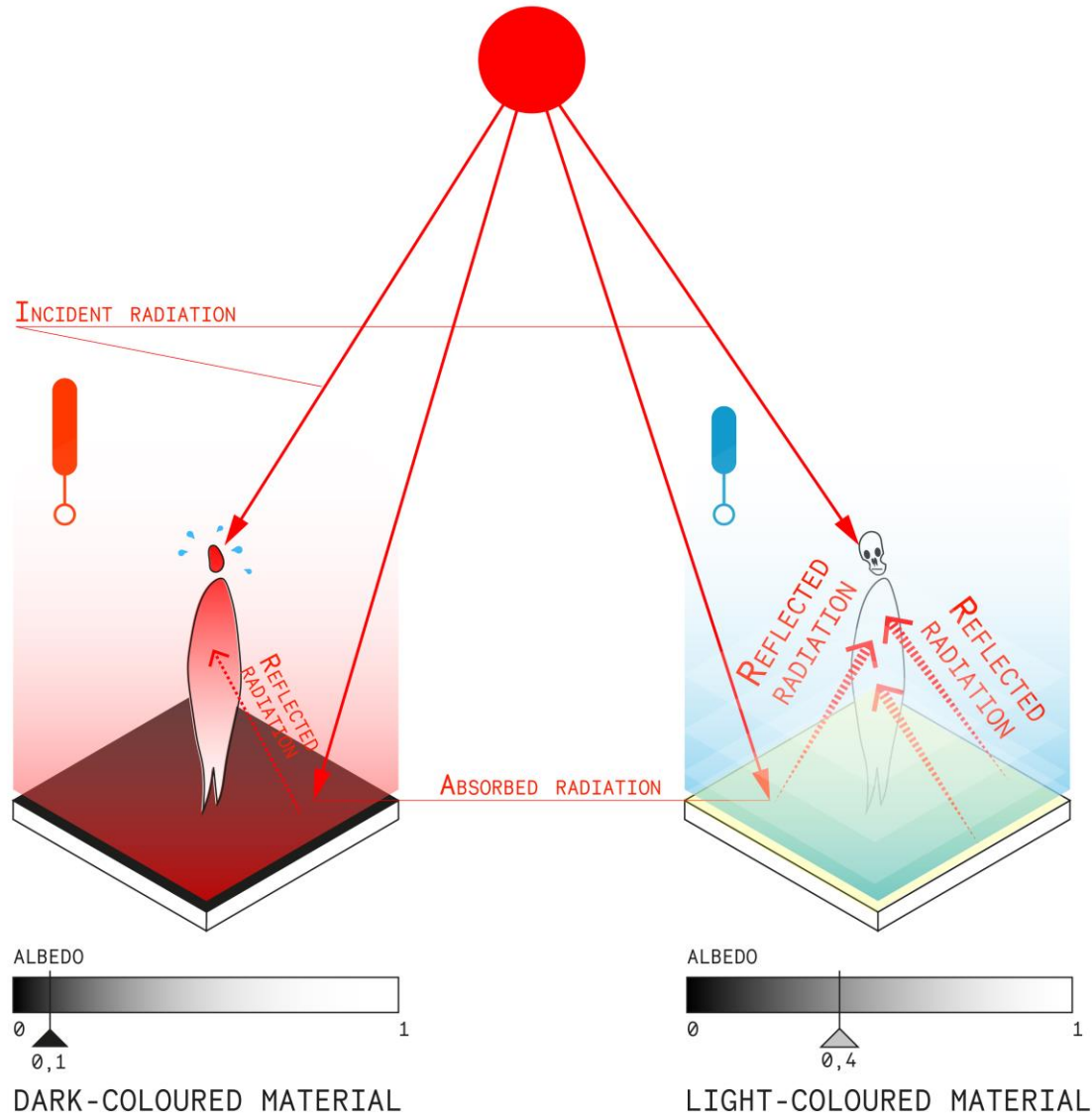
*Résultats de issus de simulations microclimatiques sur ENVI-met



La réflexion peut entraîner des conséquences négatives sur le bien-être humain !



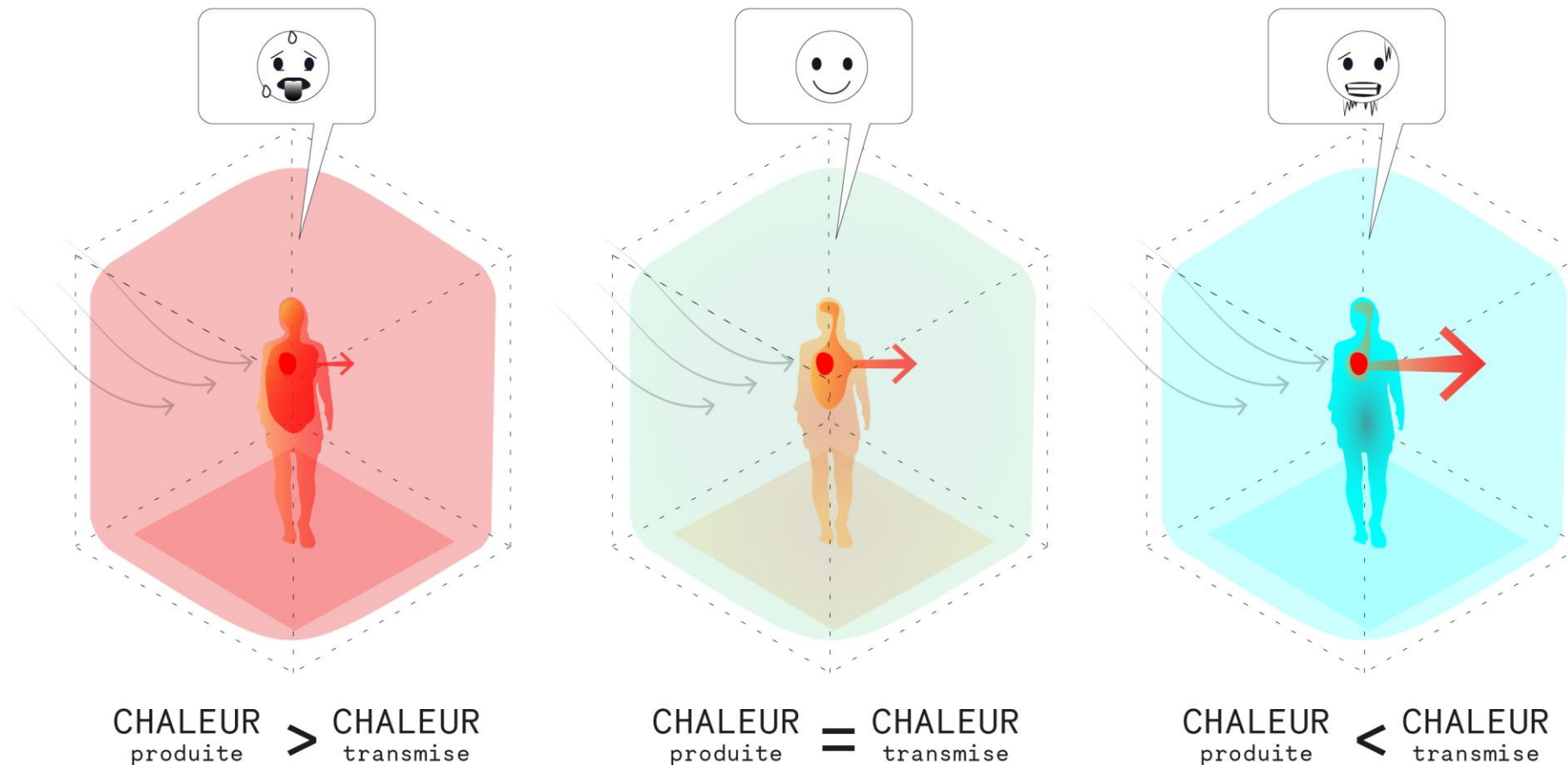
Le Contexte



J'AI CHAUD
≠
C'EST CHAUD

Le Confort Thermique

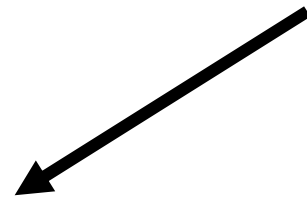
C'est la condition d'esprit qui exprime la satisfaction avec l'environnement thermique [ASHRAE 55], qui peut être quantifiée par le calcul d'indicateurs de confort thermique



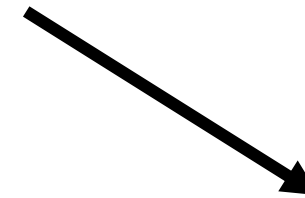
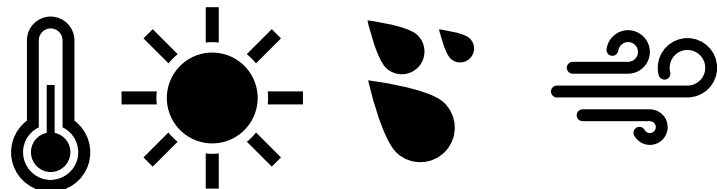
Le Confort Thermique

C'est la condition d'esprit qui exprime la satisfaction avec l'environnement thermique [ASHRAE 55]

Un environnement « plus frais » n'est pas forcément « plus confortable » car :



Le confort thermique est affecté par plusieurs facteurs, physiques et microclimatiques (T_{air} , MRT, HR, V_{vent}), et T_{air} c'est juste l'un de ceux-ci.

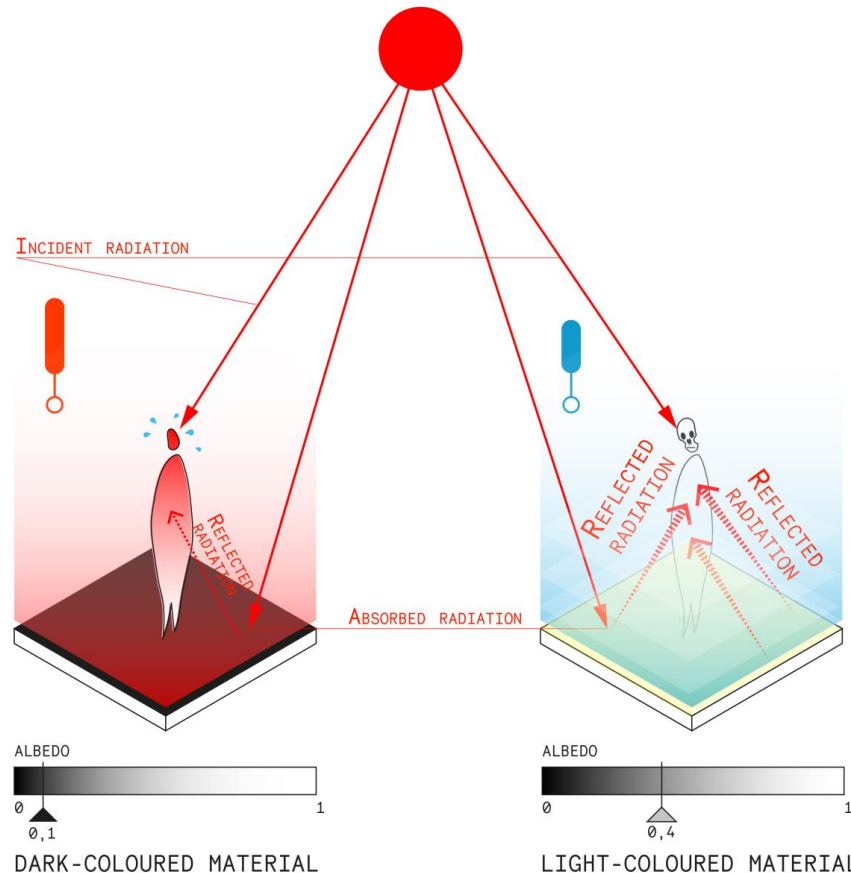


Le confort thermique est défini comme une condition d'esprit qui est subjective.



Les Objectifs

La simulation microclimatique couplée au calcul d'indicateurs de confort a produit des résultats contraintifs qui sont en désaccord avec certaines pratiques d'aujourd'hui



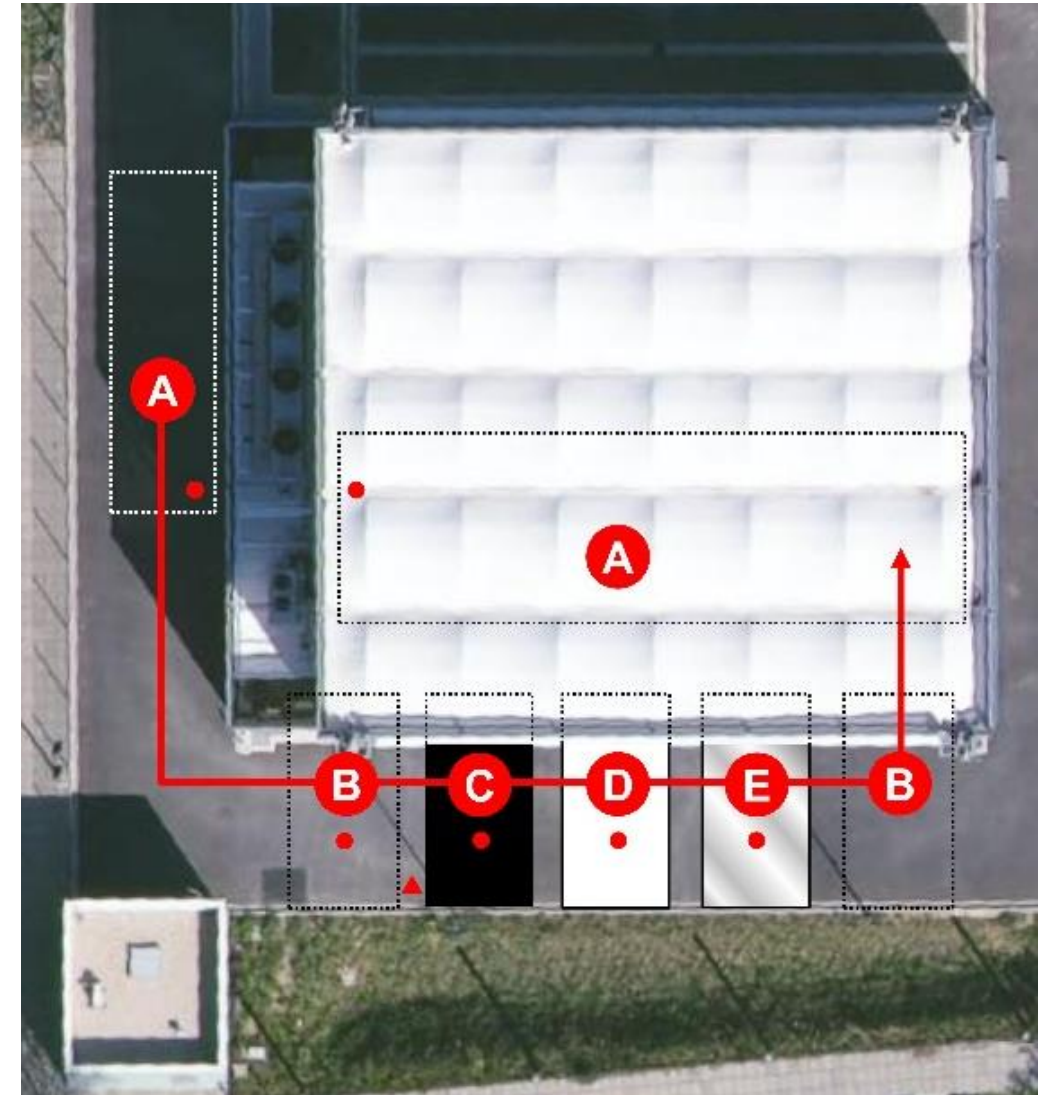
Est-ce que les résultats de simulation sont cohérents avec la réalité ?



Est-il pertinent de calculer une notion « subjective » comme le confort thermique à l'aide de formules « objectives » ?

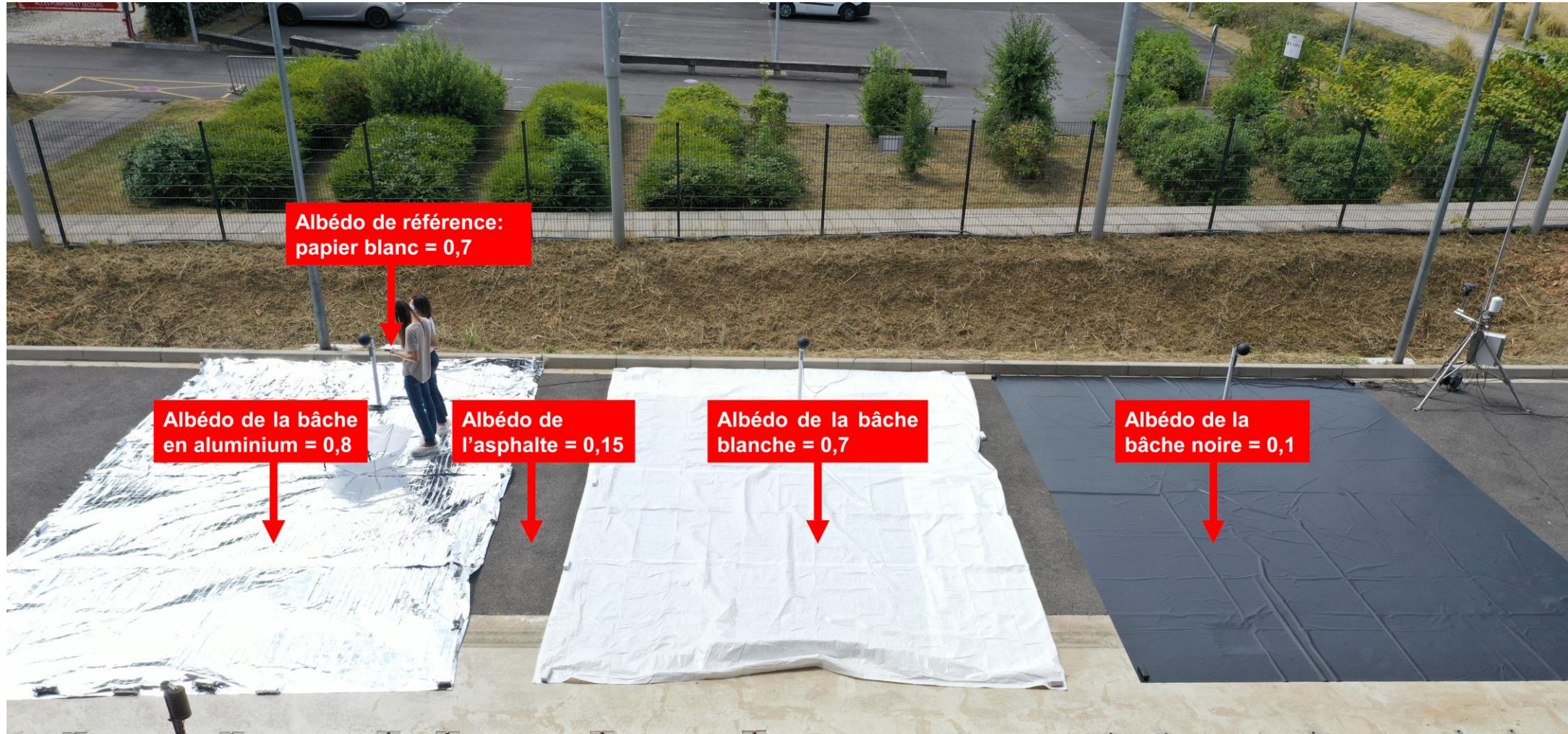
Nécessité d'une vérification expérimentale

Ambiances microclimatiques

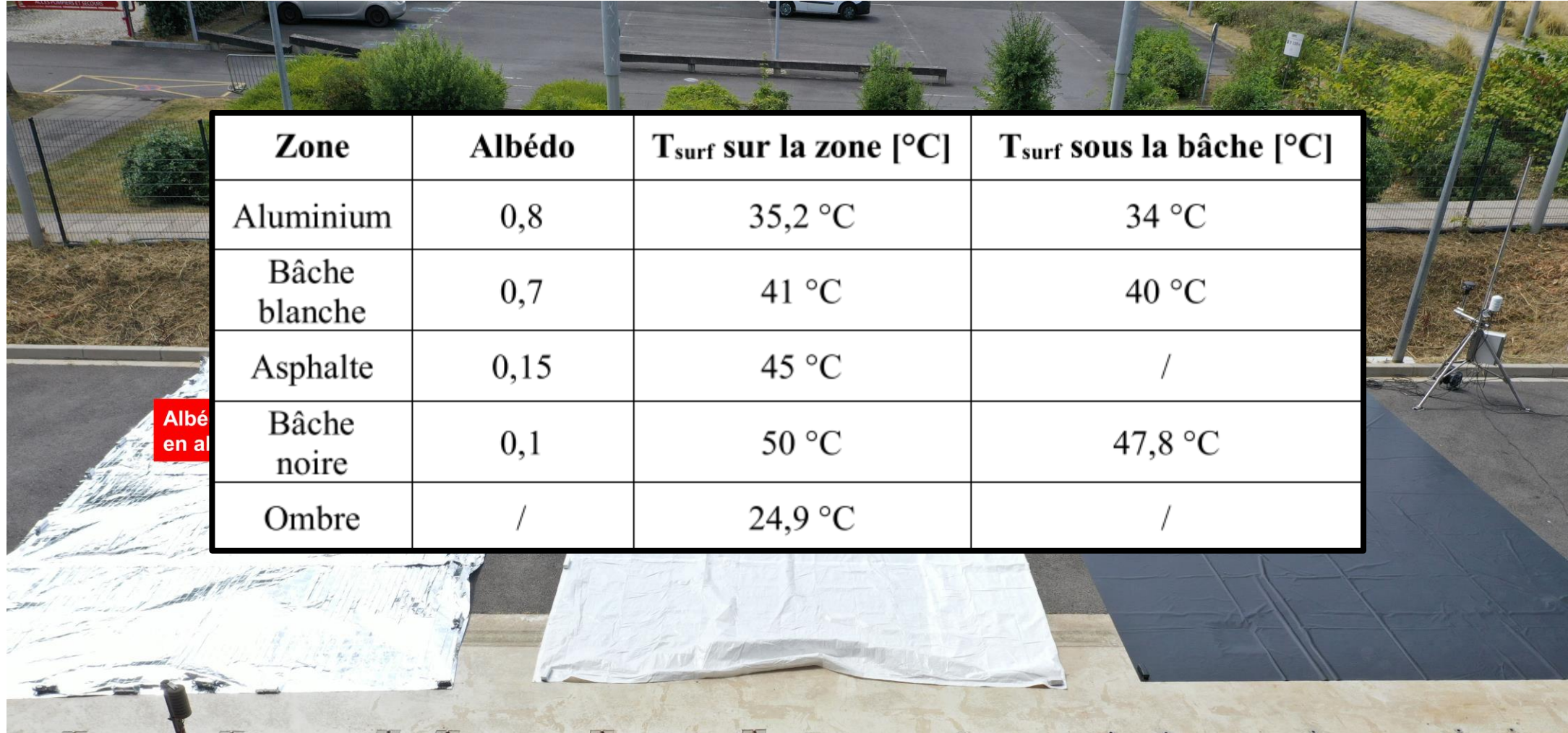


Expérience participative avec 75 volontaires le 27, 28, 29 juillet et 3, 4 août 2022

Ambiances microclimatiques



Ambiances microclimatiques



Zone	Albédo	T _{surf} sur la zone [°C]	T _{surf} sous la bâche [°C]
Aluminium	0,8	35,2 °C	34 °C
Bâche blanche	0,7	41 °C	40 °C
Asphalte	0,15	45 °C	/
Bâche noire	0,1	50 °C	47,8 °C
Ombre	/	24,9 °C	/

Données microclimatiques

Globes noirs (T_g , $D = 15 \text{ cm}$, $\varepsilon = 0,95$)



Anémomètre (v) + capteurs (T_{air} , HR)



$$MRT_{(i)} = \left[\left(T_{g(i)} + 273,15 \right)^4 + \frac{1,1 \times 10^8 \times v^{0,6}}{\varepsilon \times D^{0,4}} \times \left(T_{g(i)} - T_{air} \right) \right]^{1/4} - 273,15 \quad (\text{Thorsson et al., 2007})$$

Données humaines

Données physiques...

GENERAL INFORMATION (INFORMATIONS GENERIQUES)

Subject (Sujet) N° Date: Starting hour (horaire de départ) :

PHYSICAL INFORMATIONS (INFORMATIONS PHYSIQUES)

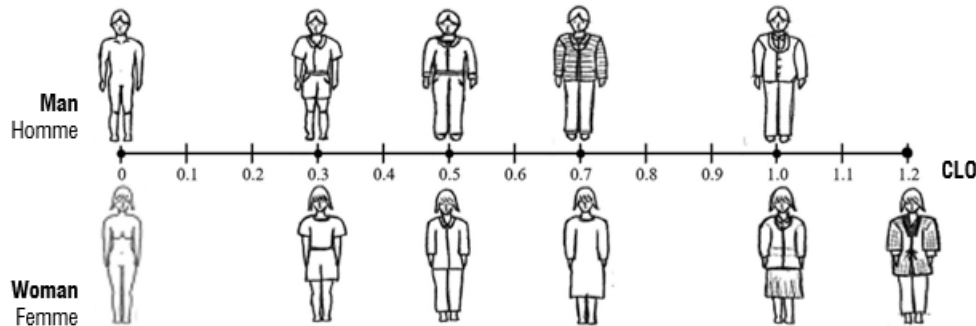
Activity performed before (Activité effectuée avant):

Previous location (Localisation précédente):

Age (Âge): Sex (Sexe): Weight (poids):kg Height (hauteur):m

Hours of sport in a week (Heures de sport par semaine):

Nationality (Nationalité): Clothing (Habillement): CLO

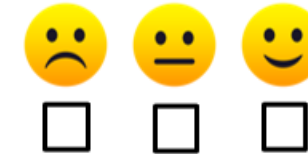


... et « psychologiques »

PSYCHOLOGICAL INFORMATION (INFORMATIONS PSYCHOLOGIQUES)

How would you describe your CURRENT emotional state ?

Comment décririez-vous votre état émotionnel ACTUEL ?



During a heat wave without wind or shading devices, which path would you choose to improve your thermal comfort?

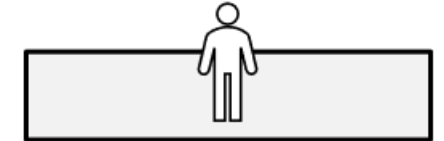
Pendant une situation caniculaire sans ventilation ou éléments d'ombrage, quel parcours choisiriez-vous pour améliorer votre confort thermique ?

The one with a DARK coating
Celui avec un revêtement SOMBRE



32 %

The one with a CLEAR coating
Celui avec un revêtement CLAIR



68 %

Données du confort thermique

Données microclimatiques



Données humaines







Confort thermique
(niveau de satisfaction de l'environnement)

Données du confort thermique

THERMAL STRESS SCALE (ECHELLE D'EVALUATION DU STRESS THERMIQUE)

-1	0	1	2	3	4	5
Slightly cold stress (Légèrement froid)	No thermal stress (Confortable)	Slightly heat stress (Légèrement chaud)	Moderate heat stress (Modérément chaud)	Strong heat stress (Fortement chaud)	Very strong heat stress (Très fortement chaud)	Extreme heat stress (Extrêmement chaud)

PERSONAL THERMAL EVALUATION OF THE PARTICIPANTS

Analysed Zone 	Step #1 	Step #2 	Step #3 
Shade #1	Vote: Hour: Notes:	Vote: Hour: Notes:	Vote: Hour: Notes:
Asphalt #1	Vote: Hour: Notes:	Vote: Hour: Notes:	Vote: Hour: Notes:
Aluminium cover	Vote: Hour: Notes:	Vote: Hour: Notes:	Vote: Hour: Notes:
Black cover	Vote: Hour: Notes:	Vote: Hour: Notes:	Vote: Hour: Notes:
White cover	Vote: Hour: Notes:	Vote: Hour: Notes:	Vote: Hour: Notes:
Asphalt #2	Vote: Hour: Notes:	Vote: Hour: Notes:	Vote: Hour: Notes:
Shade #2	Vote: Hour: Notes:	Vote: Hour: Notes:	Vote: Hour: Notes:

Données du confort thermique



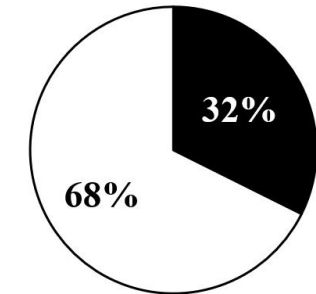
Le confort thermique est un ressenti subjectif: l'avis des participants est définitif et indiscutable !

Données du confort thermique

La psychologie et les idées acquises risquent de communiquer des données non représentatives



Préférence des volontaires avant l'expérience

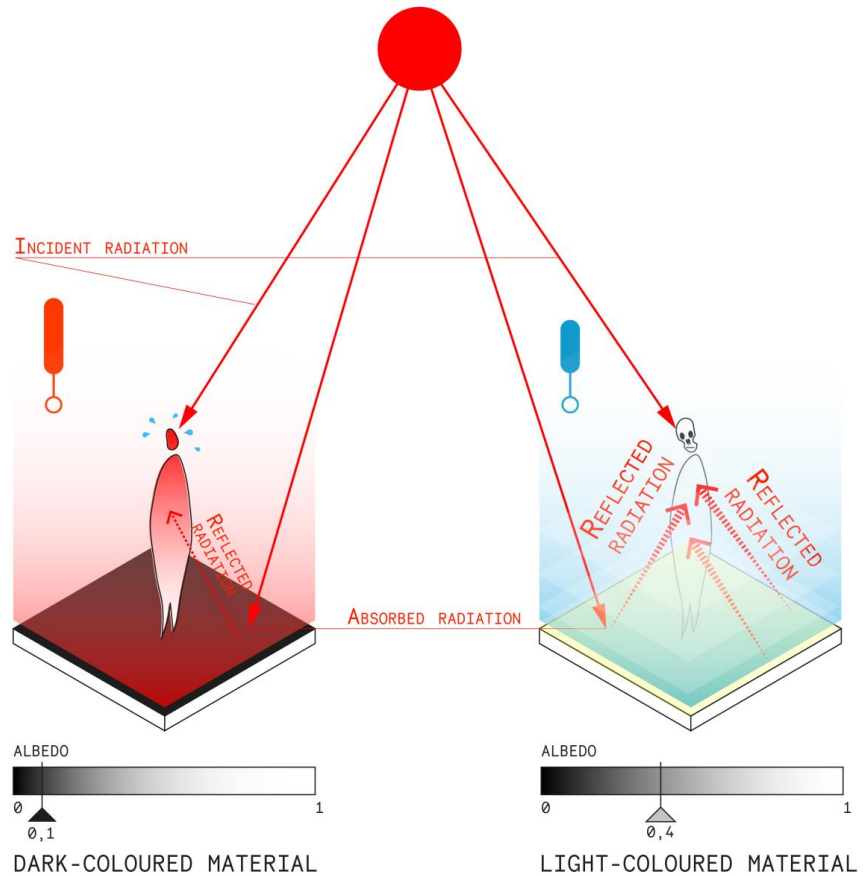


- Dark, absorbant (low-albedo) pavements
- Light, reflective (high albedo) pavements

Données du confort thermique

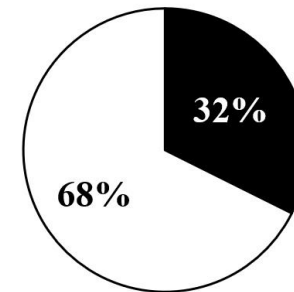
Comment minimiser ce risque ?

Question 1

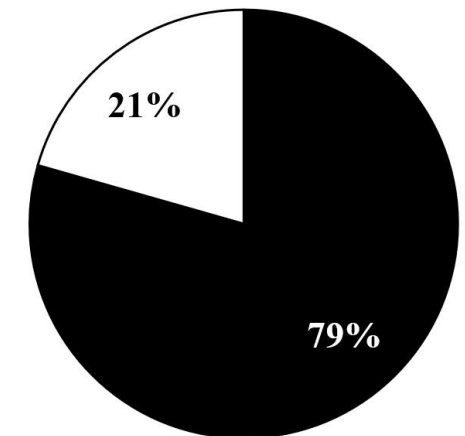


Est-ce que les résultats de simulation sont cohérents avec la réalité ? **OUI**

Préférence des volontaires avant l'expérience



Préférence des volontaires après l'expérience



- Dark, absorbant (low-albedo) pavements
- Light, reflective (high albedo) pavements

Question 1

Kevin CHAMPEAU 4 Sep 2023

6

La peinture blanche anti-chaueur ne séduit plus la ville de Lyon



LYON

APRÈS DES RÉSULTATS INSATISFAISANTS, LA MÉTROPOLE DE LYON FAIT MARCHÉ ARRIÈRE SUR LA PEINTURE ANTI-CHALEUR

Alixan Lavorel Le 03/08/2023 à 19:49

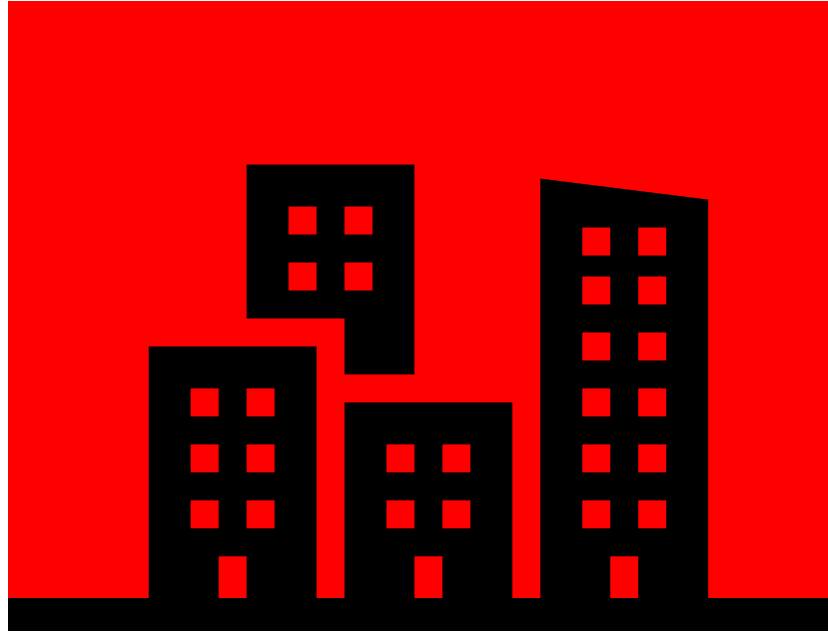


La Métropole de Lyon abandonne la peinture anti-îlots de chaleur

2 AOÛT 2023 À 11:45 - MIS À JOUR À 12:15 PAR NATHAN CHAIZE 5 Commentaires

Question 1

A ce stade il ne faut pas généraliser le résultat !



effet « additif » sur la T_{air}

~~est meilleur que~~

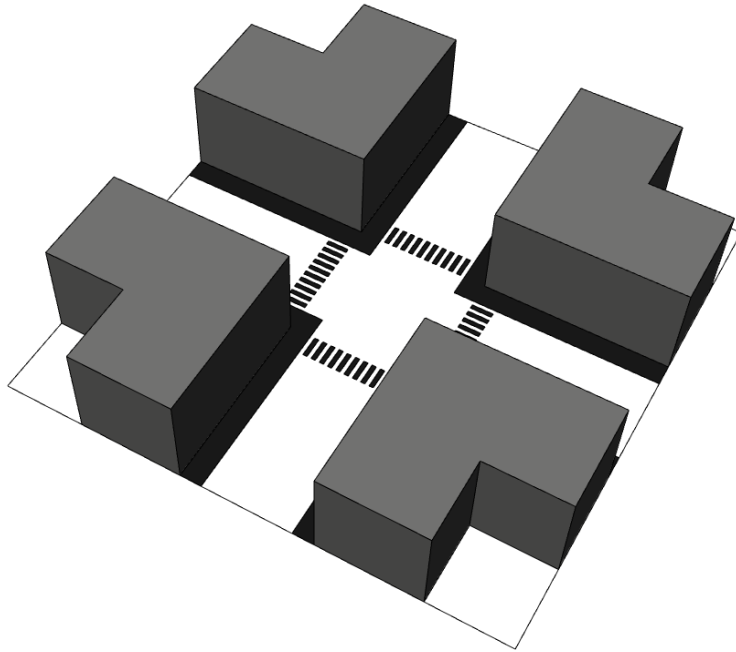
PAS FORCÉMENT !!!



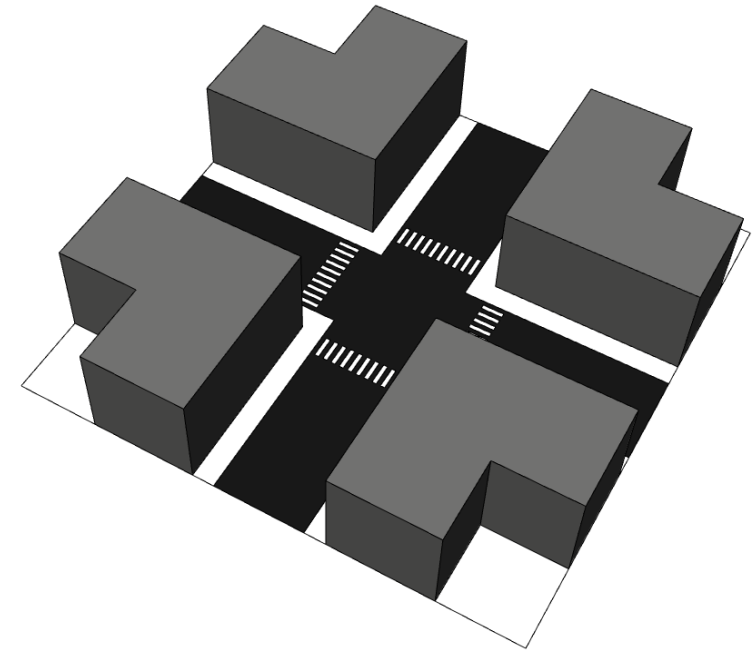
effet « non additif » sur la MRT

Question 1

Cependant, on peut affirmer que :

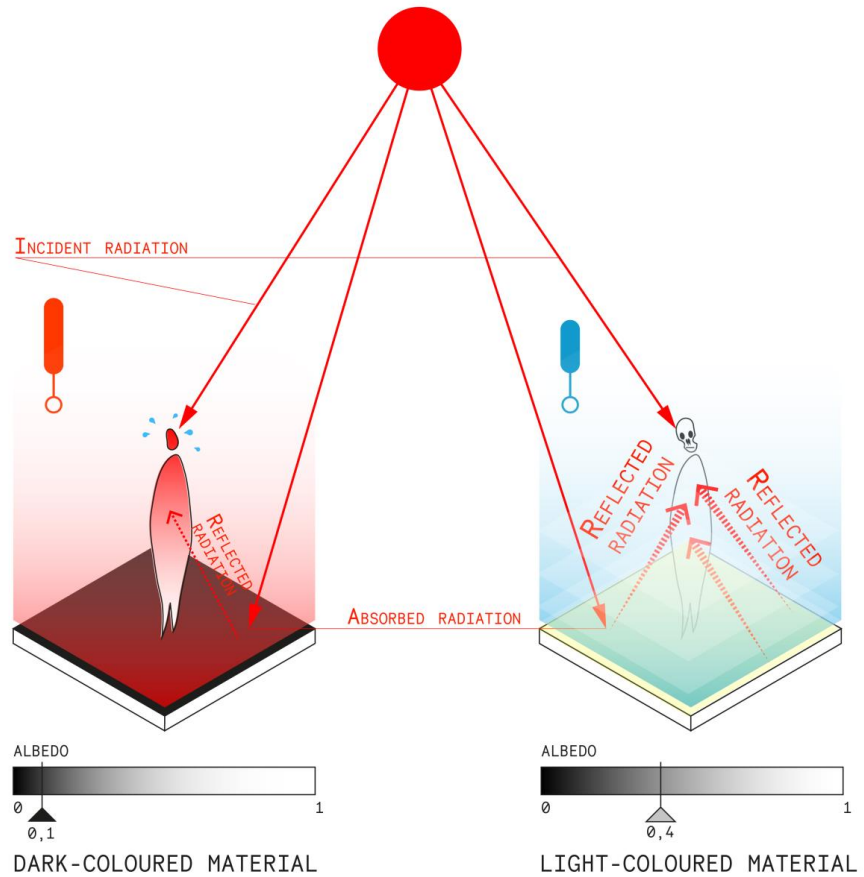


est mieux que



Appliquer la peinture blanche sur les chaussées plutôt que sur les trottoirs aurait été un choix plus pertinent pour améliorer le confort thermique extérieur à Lyon.

Question 2



Est-ce ça a du sens de calculer une notion « subjective » telle que le confort thermique par des formules « objectives » ?



G. Ritchie, *Sherlock Holmes : Jeu d'ombres*, 2011.

Analyse par Intelligence Artificielle

Traitement des valeurs de confort thermique par rapport aux données collectées

R^n

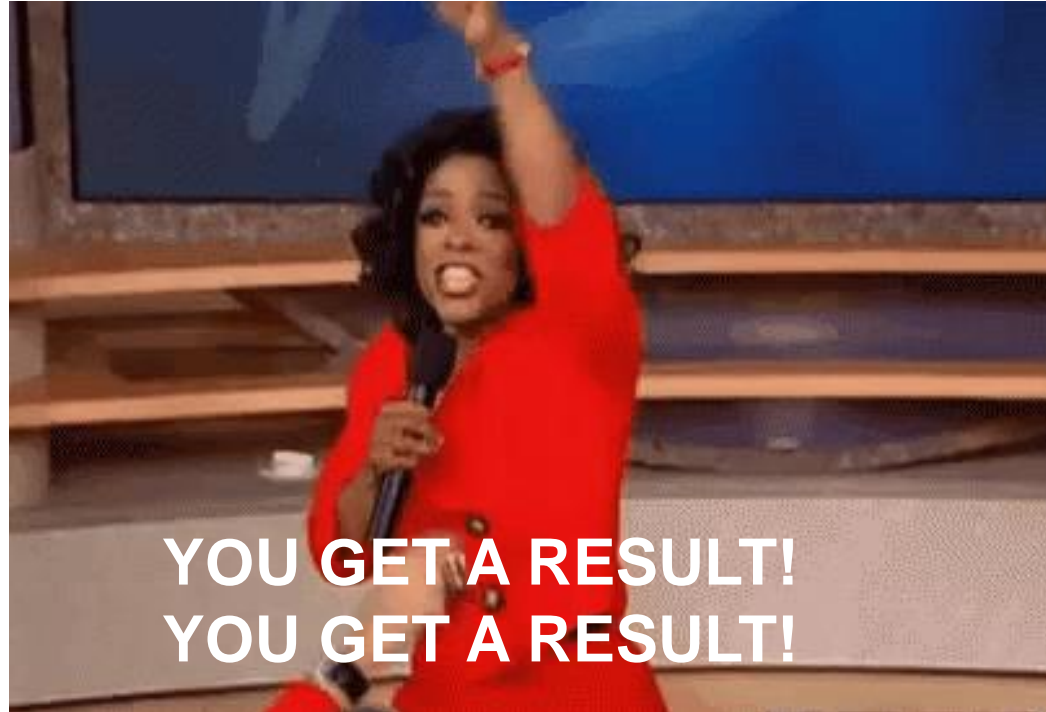
	in 1	in 2	...	in n	out
datum 1					
datum 2					
⋮					

Données Tabulaires

Méthode IA pour
comprendre les
déterminants du
confort
thermique

Analyse par Intelligence Artificielle

L'Intelligence Artificielle donne toujours un résultat, mais est-il exact ?



Il est donc nécessaire de **vérifier la méthode** avant de l'appliquer à des sujets « inconnus » tels que le confort thermique

Vérification de la méthode IA

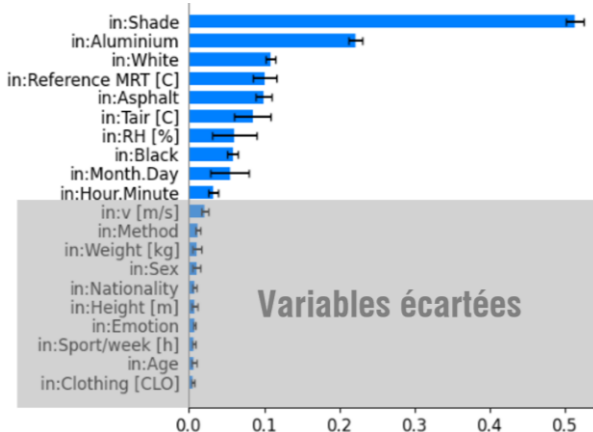
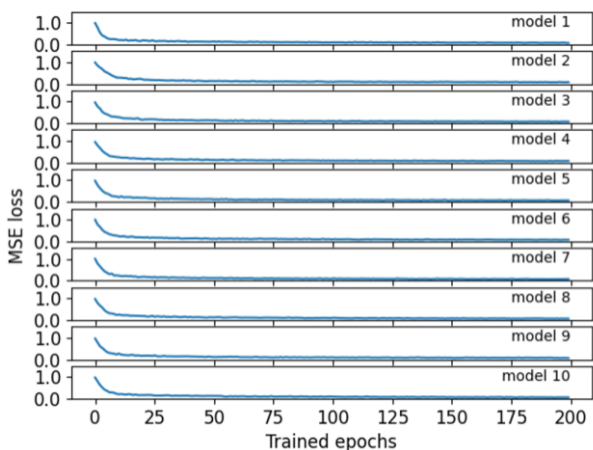
Objectif : comprendre les déterminants de la température moyenne radiante locale...



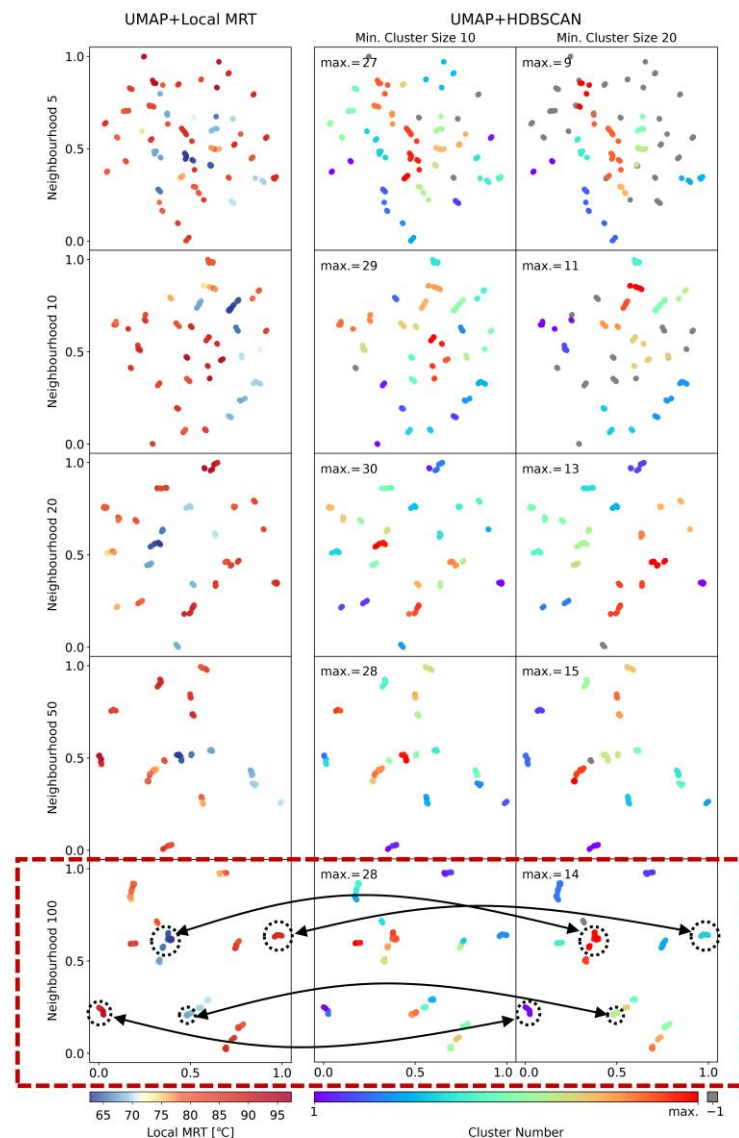
$$MRT_{(i)} = \left[\left(T_{g(i)} + 273,15 \right)^4 + \frac{1,1 \times 10^8 \times v^{0,6}}{\varepsilon \times D^{0,4}} \times \left(T_{g(i)} - T_{air} \right) \right]^{1/4} - 273,15 \quad (\text{Thorsson et al., 2007})$$

... alors qu'on connaît déjà la réponse !

Vérification de la méthode IA



Uniquement les variables microclimatiques et matériau sont influentes : ça a du sens !

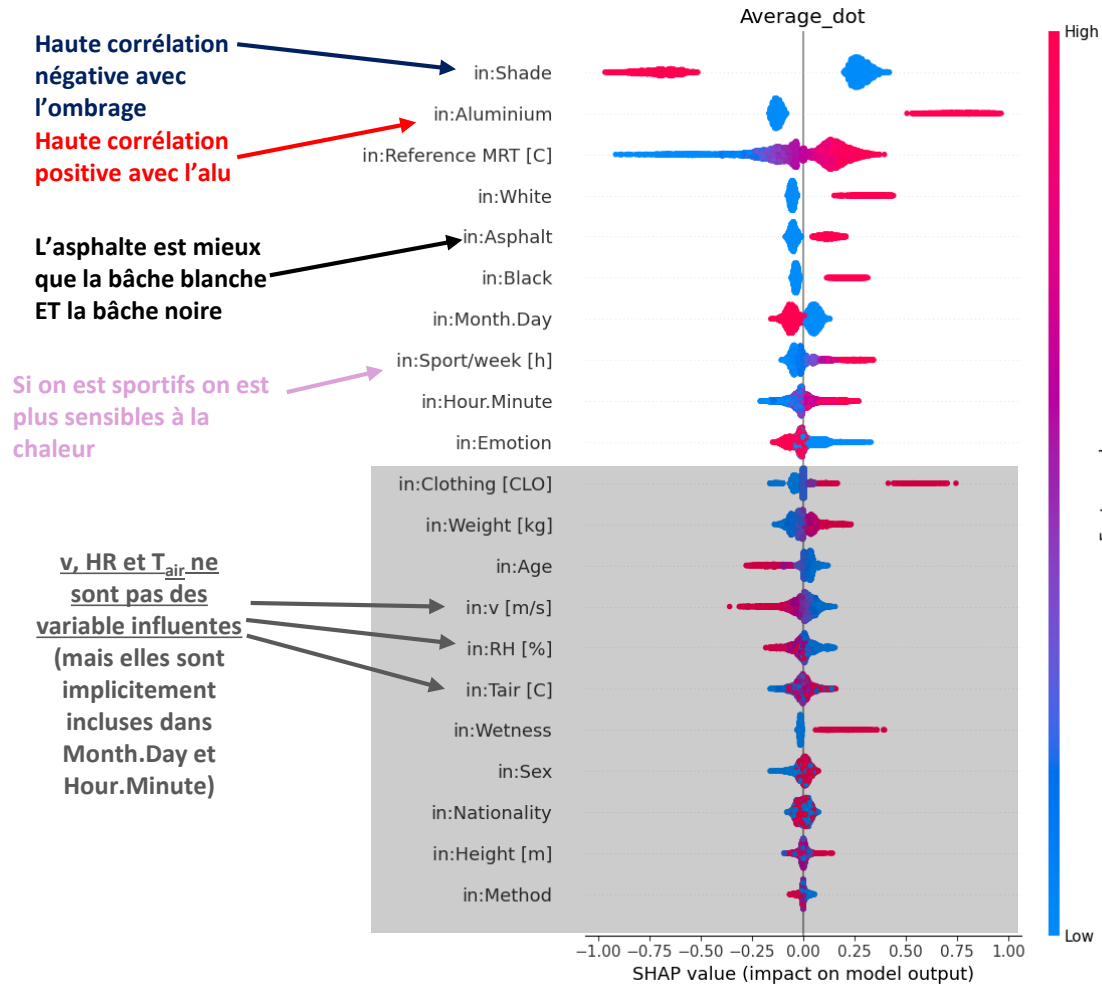


Correspondance presque parfaite entre les clusters des variables influentes et la couleur de la MRT



Méthode validée : on peut l'appliquer sur le confort !

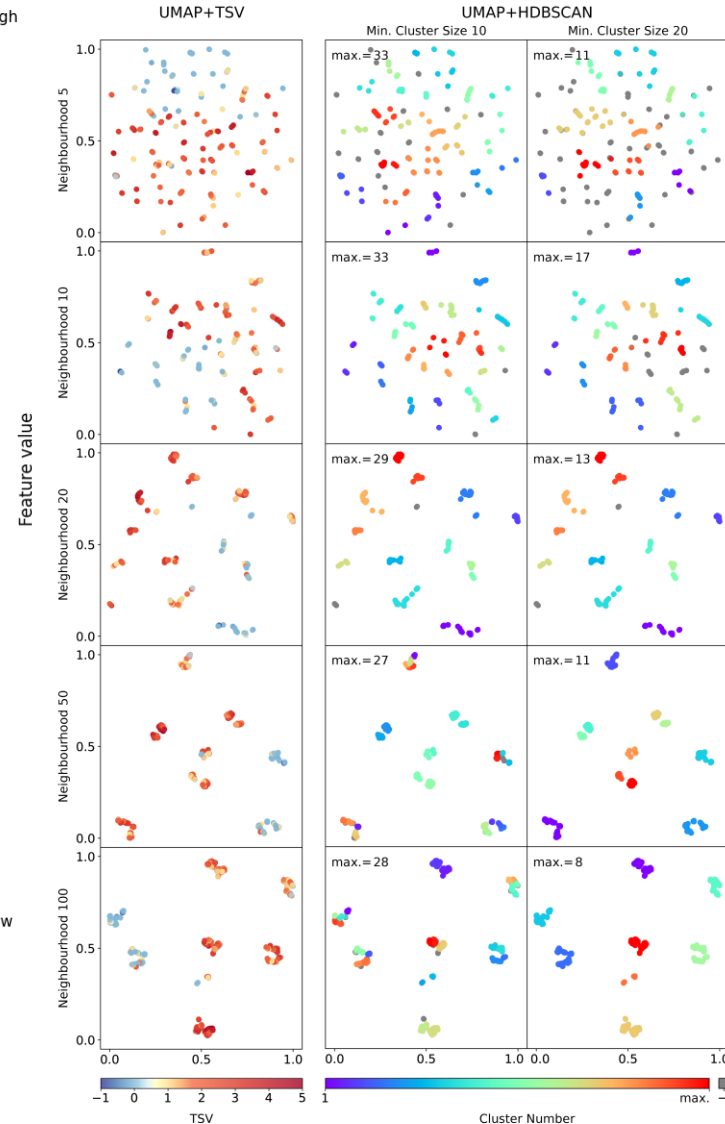
Application au confort



Si on est sportifs on est plus sensibles à la chaleur

v, HR et T_{air} ne sont pas des variables influentes (mais elles sont implicitement incluses dans Month.Day et Hour.Minute)

Les variables microclimatiques et matériau sont les plus influentes... avec les heures de sport hebdomadaire et l'émotion



Bonne correspondance entre les clusters et les couleurs du confort (mais moins précis que le MRT locale ce qui est normal)



La démarche du calcul du confort a du sens !

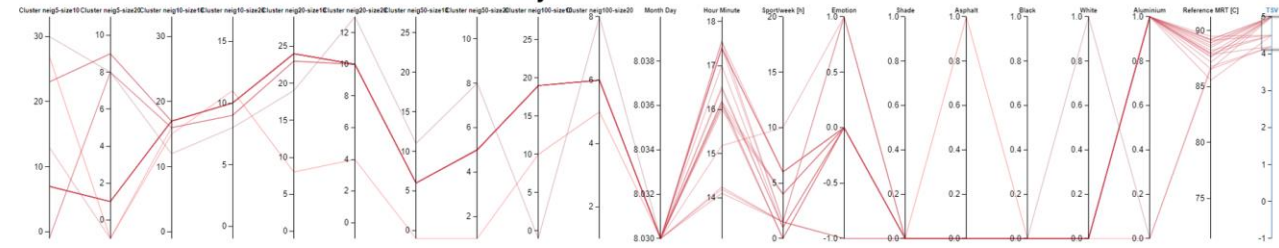


Application au confort

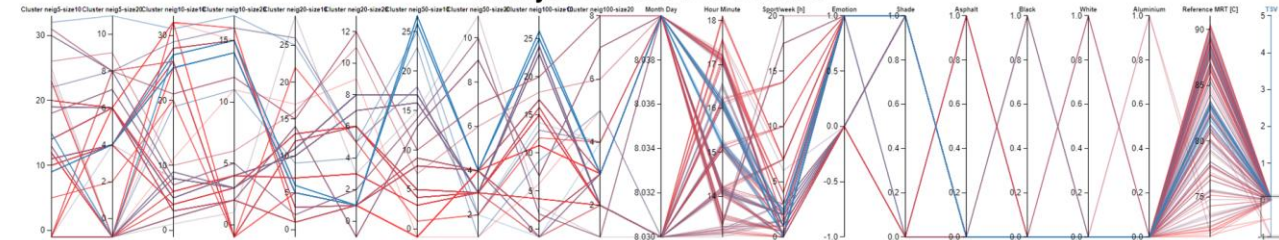


<https://t-t-acm.github.io/DesignExplorer/?ID=aHR0cHM6Ly9kcml2ZS5nb29nbGUuY29tL2RyaXZIL2ZvbGRlcnMvMUZNX2tQNIN1YIVSZ01KbXE4RUxsY25KVHBNcG9iZzV6P3VzcD1zaGFyaW5n>

Analyse inverse : TSV élevé



Analyse inverse : TSV faible



G. Ritchie, *Sherlock Holmes : Jeu d'ombres*, 2011.

Conclusion

Mise en discussion de la « subjectivité » du confort, en tant qu'il est dérivable par des facteurs microclimatiques et de position « objectifs »

Données microclimatiques



~~Données humaines~~

Confort thermique
(niveau de satisfaction **génééré par** l'environnement ?)

Concernant l'IA...

Elle est une ressource importante au service de la fabrique de la ville, qui demande de considérer une quantité croissante de données

MAIS

Elle nécessite d'une base de données fiable ET de la vérification des résultats qui sont produits

Paradoxalement, elle implique une croissance de la responsabilité des utilisateurs !

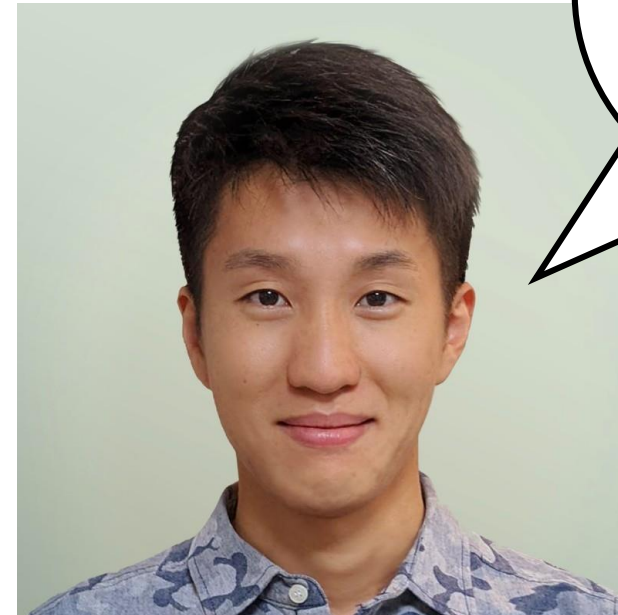
MERCI POUR VOTRE ATTENTION ! AVEZ-VOUS DES QUESTIONS ?

Des questions sur le
confort thermique
ou la **fabrique de la**
ville ? Je suis à
votre disposition !



matteo.migliari@enpc.fr

Des questions sur
l'**IA** ? Je suis à
votre disposition !
(en anglais 😊)



hayashi.kazuki@archi.kyoto-u.ac.jp