

# Modélisation des îlots de chaleur urbains

Perfectionnement du calcul de facteurs de forme intégrés à un modèle aérodynamique simplifié

Travaux de stage

## Contexte & objectifs

Toutes les villes sont confrontées au phénomène **d'îlot** de chaleur urbain, noté ICU, rendant leur climat hostile aux activités humaines. Les recherches ayant pour but l'amélioration du climat urbain doivent alors passer par une meilleure modélisation du phénomène d'ICU.

Ce stage a pour objectif de perfectionner la précision des outils utilisés par L'hypercube, à l'égard de l'étude des ICU. La finalité est de modéliser le confort en milieu urbain avec une grande précision tout en limitant le temps de calcul.

## Définition

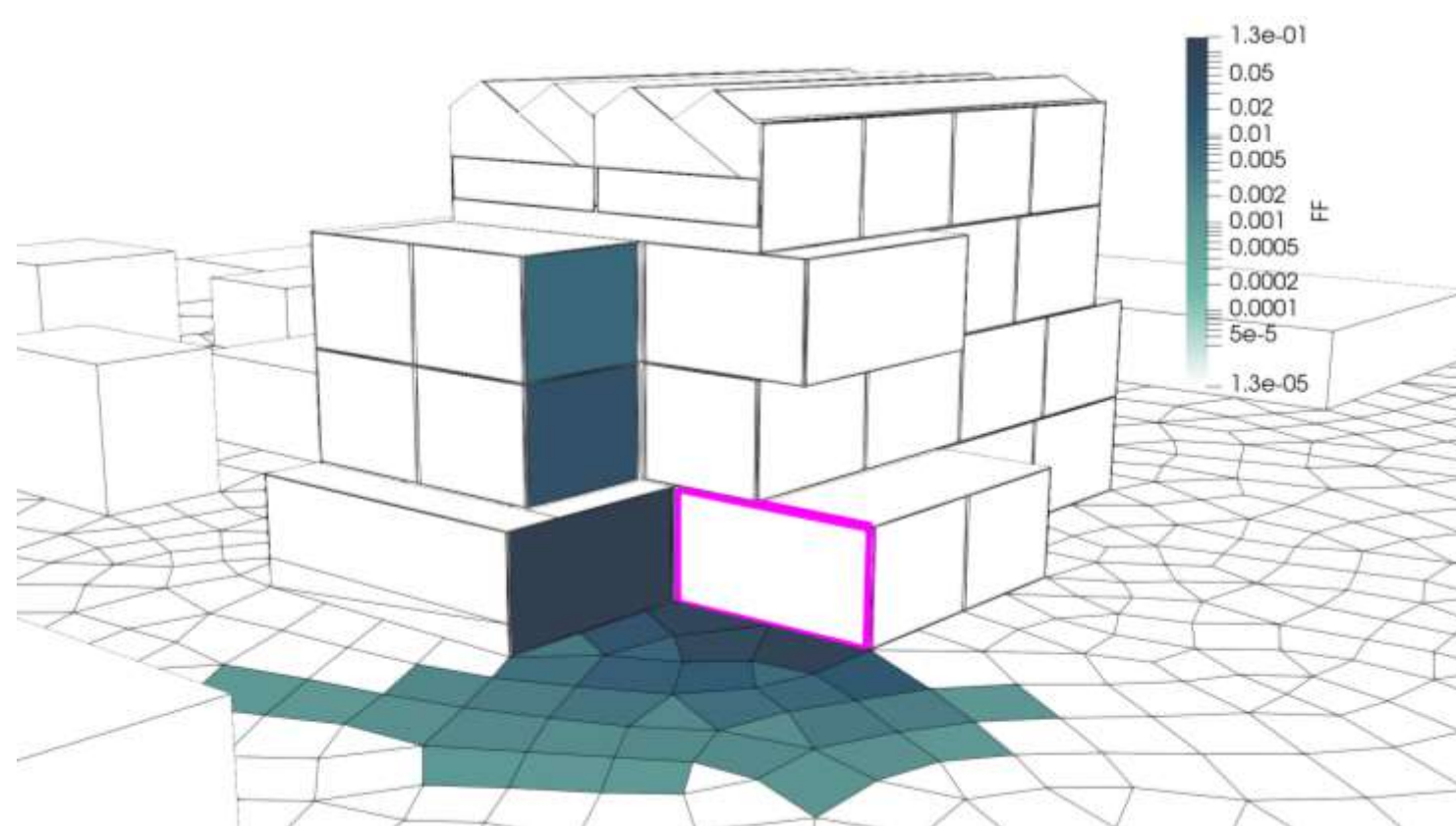
Tout corps émet un flux de chaleur par rayonnement dû à sa température. Ce flux va être émis dans les grandes longueurs d'ondes, c'est-à-dire dans l'infra-rouge. Lorsque ce flux est capté par un autre corps on parle alors d'échange radiatif.

L'étude de ces échanges radiatifs entre les bâtiments d'une ville et leur environnement est particulièrement importante pour comprendre les microclimats urbains. En effet, selon la typologie des lieux (densité, hauteur moyenne) les échanges radiatifs vont être plus ou moins obstrués. Certaines typologies peuvent même donner naissance à des piègeages radiatifs, amplifiant le phénomène d'ICU.

Il est donc important de pouvoir quantifier ces obstructions, afin d'ajuster les bilans de flux de chaleur et obtenir les mesures de températures les plus précises possible. Le facteur de forme entre deux surfaces, noté FF, permet cette quantification. Si le FF entre une surface A et B vaut 100%, alors B capte 100% du flux émis par A. S'il vaut 0%, B ne capte aucun flux.

## Modélisation

Il existe différentes manières de calculer les FF entre surfaces. Le travail réalisé pendant le stage s'est basé sur la méthode décrite dans [Mazumder et Ravishankar, 2012]. Cette méthode a été implémentée en langage Python, et les calculs ont été accélérés grâce au langage Cython, mélange de C et de Python. La méthode a ensuite été appliquée au calcul de FF des cellules composant les maquettes numériques **d'une** scène urbaine, utilisée comme cas d'étude.



Evolution des valeurs de FF entre une cellule et son environnement dans la scène urbaine servant de cas d'étude— plus la couleur est foncée plus le FF est proche de 1

Pour limiter le nombre de calculs il est intéressant de regarder l'évolution de la valeur des FF en fonction de la distance entre cellules et du rapport entre leurs aires. Dans notre cas d'étude, les FF peuvent être élevés quelque soit les rapports entre aires de surfaces, mais ils sont systématiquement inférieurs à 1% lorsque la distance entre cellules dépasse 40 mètres. En évitant de calculer les FF entre cellules séparées de plus de 40 mètres, il a donc été possible de réduire le nombre de calculs de 80%.

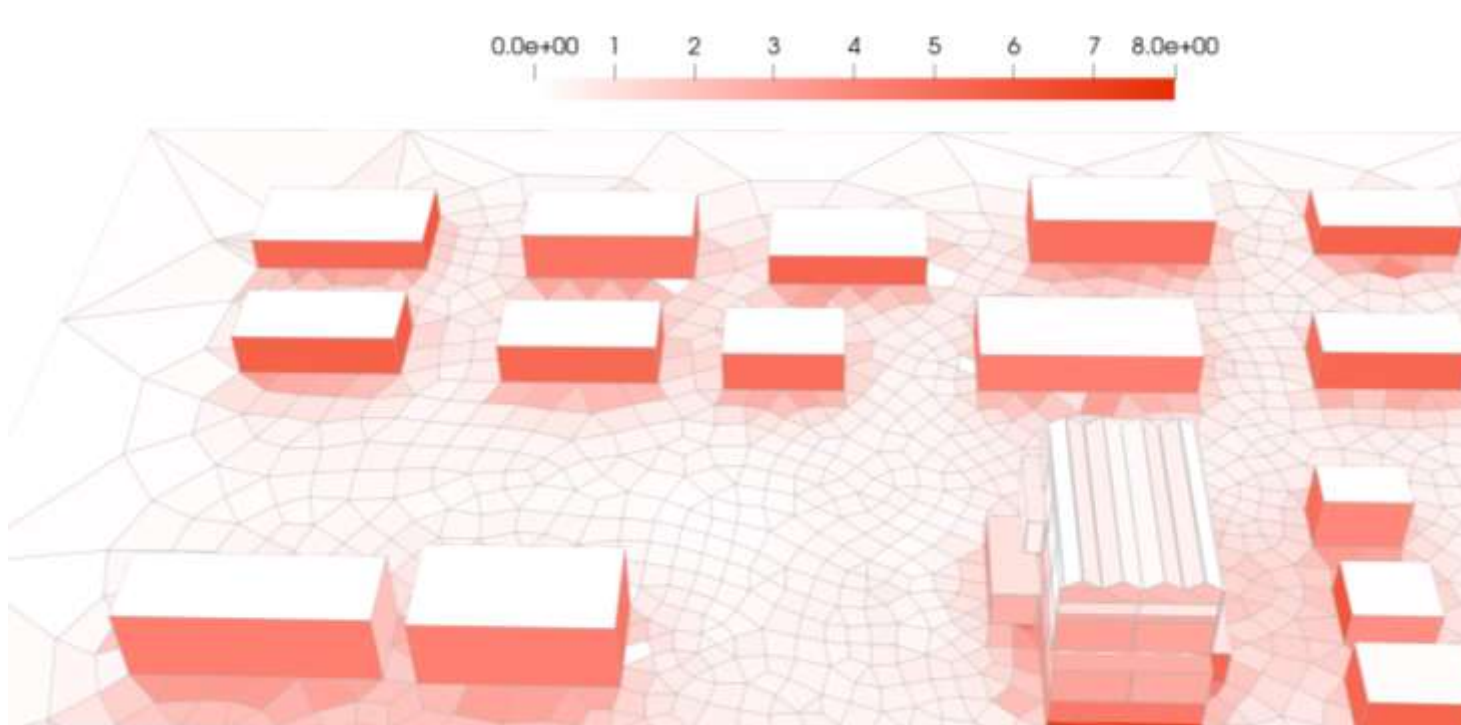
## Méthodologie

Dans un premier temps, un outil numérique de calcul de facteurs de forme, notés FF, a été développé. Celui-ci est basé sur une résolution exacte et permet d'éviter les approximations, parfois trop simples, effectuées par le logiciel de simulation thermique dynamique, STD, EnergyPlus.

Dans un second temps, un deuxième outil a été développé afin d'utiliser les résultats du premier pour calculer les températures **d'air** ainsi que **l'humidité** relative.

## Résultats

Dans un premier temps, l'utilisation des FF exacts a permis de mieux représenter **l'échauffement** des surfaces dans **l'environnement** immédiat des bâtiments. Cette conséquence, caractéristique du phénomène d'ICU, est d'autant plus marquée en situation estivale.

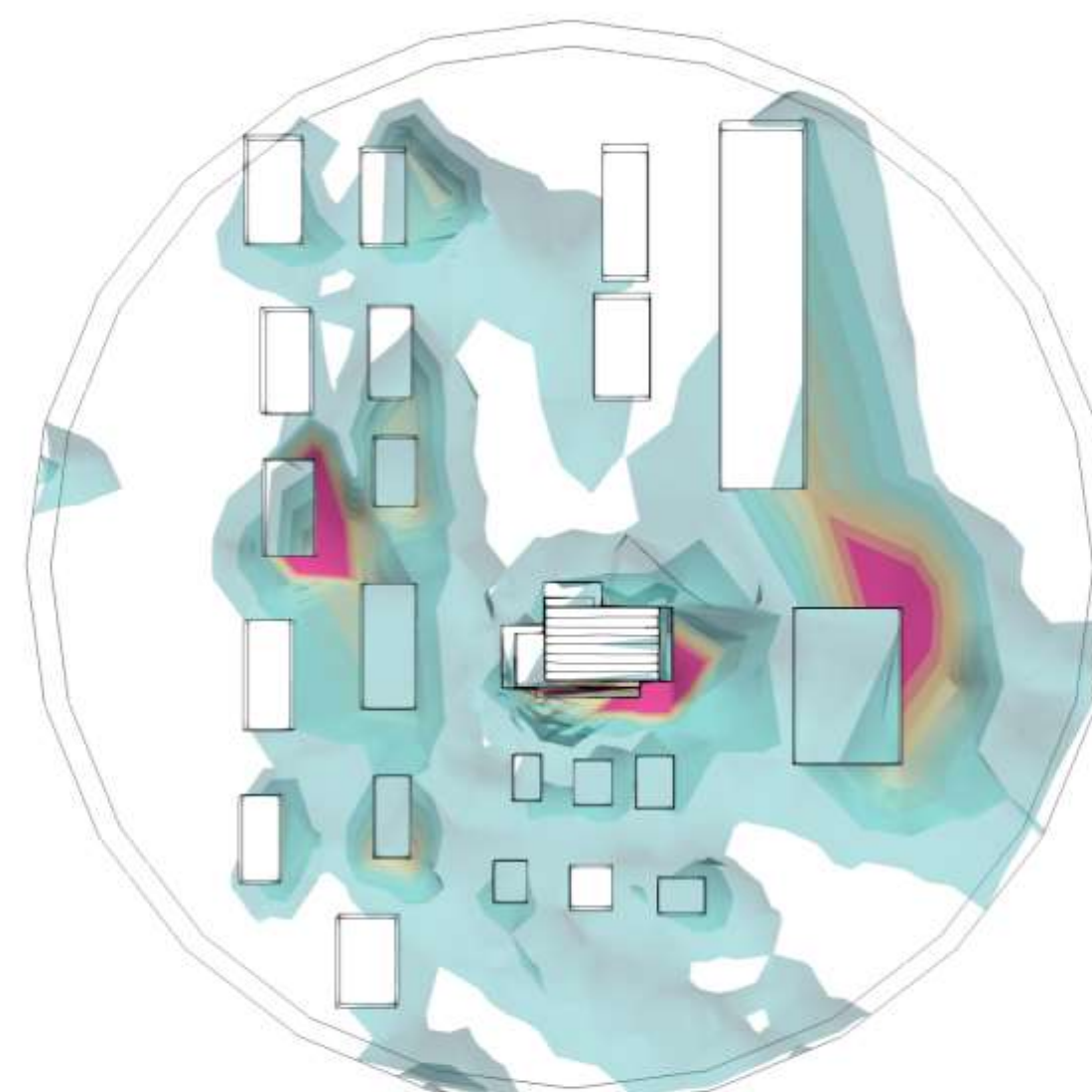


Comparaison des résultats de simulations entre les deux méthodes en situation estivale

La figure suivante illustre la comparaison de deux jeux de résultats. Le premier jeu est issu de simulations utilisant des FF exacts. Le second provient de simulations utilisant des FF approximatifs par le logiciel de STD.

La non prise en compte des FF exacts entraîne une sous-estimation des températures de surfaces **d'environ** 4°C aux alentours des bâtiments, et de 8°C au maximum.

Dans un second temps, ces résultats ont été exploités afin de calculer les températures **d'air** dans une scène urbaine, grâce au deuxième outil implémenté. Le but de la démarche est de **s'affranchir** de **l'utilisation d'un** logiciel de *Computational Fluid Dynamics*, type OpenFoam.



Isovolumes de température dans une scène urbaine soumise à un vent Nord-Ouest

La figure suivante représente les isovolumes de températures dans la scène étudiée, lorsque celle-ci est exposée à un vent venant du Nord-Ouest en situation estivale. Il est intéressant de noter que l'outil implémenté, bien que moins complet qu'OpenFoam, permet d'observer **l'échauffement** de **l'air** dans les zones où **l'écoulement** du vent est en partie obstrué par les bâtiments.

AREP



école  
normale  
supérieure  
paris-saclay

Étudiant Marc ALECIAN  
Niveau d'études Master 2  
Spécialité Transports et Mobilité  
Tuteur école Farid BENBOUDJEMA

Durée 24 semaines  
Période 04.21 – 10.21

Entité AREP L'hypercube  
Tuteurs AREP Mateusz BOGDAN, Edouard WALTHER

## EMC2B



Les outils développés permettent de représenter plus précisément le comportement d'une scène urbaine et des bâtiments face à leur environnement. Les résultats aident à localiser les endroits où le phénomène d'ICU se fait le plus ressentir et donc de mieux prévoir:

- La consommation énergétique des bâtiments #Energie
- Les émissions de CO2 #Carbone

L'objectif est de mettre en place des solutions Low-Tech permettant d'assurer le confort des usagers et d'éviter la surchauffe urbaine #Climat.

## Références

[Mazumder et Ravishankar, 2012] MAZUMDER, S. et RAVISHANKAR, M. (2012). General procedure for calculation of diffuse view factors between arbitrary planar polygons. International Journal of Heat and Mass Transfer, 55(23):7330–7335.