

## ÉVALUATION DU RAFFRAÎCHISSEMENT DES PARCS URBAINS À L'AIDE DU BILAN ÉNERGÉTIQUE DE MOTIFS ÉLÉMENTAIRES DU PARC

Adrien GROS<sup>1</sup>, Auline RODLER<sup>2</sup>, Jeremy BERNARD<sup>3</sup>, Benjamin MORILLE<sup>4</sup>, Sihem GUERNOUTI<sup>5</sup>, Marjorie MUSY<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Soleneos et Institut de Recherche en Sciences et Techniques de la Ville, 1 rue de la Noé – 44300 Nantes, [adrien.gros@soleneos.fr](mailto:adrien.gros@soleneos.fr)

<sup>2</sup> Cerema Ouest, Équipe BPE et Institut de Recherche en Sciences et Techniques de la Ville, 9 rue René Viviani – 44262 Nantes, [auline.rodler@cerema.fr](mailto:auline.rodler@cerema.fr)

<sup>3</sup> Université de Göteborg et chercheur associé au Lab-STICC, Guldhedsgatan 5a - 41320 Göteborg, [jeremy.bernard@gu.se](mailto:jeremy.bernard@gu.se)

<sup>4</sup> Soleneos et Institut de Recherche en Sciences et Techniques de la Ville, 1 rue de la Noé – 44300 Nantes, [benjamin.morille@soleneos.fr](mailto:benjamin.morille@soleneos.fr)

<sup>5</sup> Cerema Ouest, Équipe BPE et Institut de Recherche en Sciences et Techniques de la Ville, 9 rue René Viviani – 44262 Nantes, [Sihem.guernouti@cerema.fr](mailto:Sihem.guernouti@cerema.fr)

<sup>6</sup> Cerema Ouest, Équipe BPE et Institut de Recherche en Sciences et Techniques de la Ville, 9 rue René Viviani – 44262 Nantes, [marjorie.musy@cerema.fr](mailto:marjorie.musy@cerema.fr)

**Résumé:** Dans un contexte de réchauffement climatique, le rafraîchissement des villes grâce au parcs urbains représente une solution intéressante. Dans le cadre du projet Coolparks, nous proposons de développer un modèle simplifié de parc urbain pour déterminer le rafraîchissement qu'il produit. En représentant un parc comme un ensemble de motifs élémentaires, les résultats de simulation microclimatique de chaque motif sont utilisés pour calculer le rafraîchissement total du parc.

**Mots-Clés:** Parc urbain, rafraîchissement, modélisation microclimatique, motif élémentaire

**Abstract** With the global warming growth, cities cooling thanks to urban parks is an useful solution. As a part of the Coolparks project, the goal is to build a simplified model of the cooling from urban park. In this model, the park is represented from structural units. Numerical micro-climatic simulations are used to characterize the cooling effect of each unit to get the global cooling park effect.

**Keywords:** Urban park, microclimatic modelisation, structural unit, urban cooling

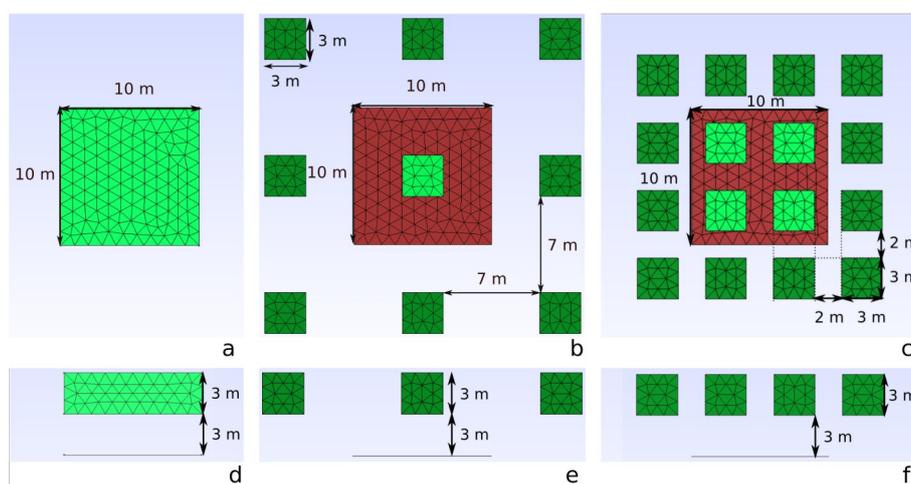
### Introduction

Les infrastructures vertes sont reconnues pour leur capacité à participer au rafraîchissement urbain (Lewis, 2016). Dans un contexte d'intensification des vagues de chaleur, il est nécessaire de développer des stratégies de rafraîchissement urbain. Les modèles numériques microclimatiques peuvent être utilisés pour évaluer l'impact des espaces verts sur les températures d'un quartier (Morille 2017, Yang 2021). Cependant ces modèles nécessitent des temps de calculs excessif. L'objectif du projet Coolparks est de développer un modèle simplifié de parc urbain permettant de quantifier rapidement le rafraîchissement induit. Ainsi, des simulations numériques microclimatiques sont utilisées pour calculer le pouvoir rafraîchissant de motifs élémentaires de 100m<sup>2</sup>. En représentant un parc comme un assemblage de ces motifs élémentaires, le bilan énergétique de chaque motif est utilisé pour calculer le rafraîchissement total du parc. Ces motifs élémentaires sont présentés dans un premier temps. Puis les résultats issus des bilans énergétiques sont exposés. Enfin, la méthode de développement d'un modèle simplifié de parc urbain à partir des résultats obtenus est détaillée.

## 1. Modélisation micro-climatique de motifs élémentaires

### 1.1. Descriptions des motifs élémentaires

Les travaux de caractérisation des parcs nantais (Bodenan, 2021) ont permis de définir 12 motifs élémentaires pour représenter un parc urbain. Chaque motif est représenté par un carré de 10 m de côté et est composé d'une strate basse (terre, asphalte ou pelouse) et d'une strate haute (« absence d'arbre », « arbres isolés », « couvert boisé » ou « couvert boisé dense »). La strate basse « terre » est composée d'un mètre de terre tandis que les strates basses « asphalte » et « pelouse » sont composées d'une couche de 10 cm de terre superposée respectivement par une couche de 10 cm d'asphalte et 12 cm de pelouse. La strate haute « boisé dense » est composée d'une canopée d'arbres dont les houppiers sont haut de trois mètres et situés à trois mètres de haut. La surface projetée au sol recouvre 100% de la surface du motif (Figure 1a). Cette strate vise à représenter le comportement physique d'un milieu arboré dense dont le sol est constamment ombragé et sans aucune ouverture au ciel. Ainsi les facteurs de vue du ciel et le rayonnement solaire reçu au centre de la strate basse sont appliqués à l'ensemble de la strate basse. La strate haute « arbre isolé » est représentée par un arbre cubique centré sur le sol du motif (Figure 1b, en vert clair). Sa surface projetée au sol représente alors 9% de la surface au sol du motif.



**figure 1.** Dimensions des strates hautes « boisé dense » (a : vue de dessus, d : vue latéral), « arbre seul » (b : vue de dessus, e : vue latérale) et « boisée » (c : vue de dessus, f : vue latérale). Seul l'ombrage des arbres en vert foncé sont considérés, les arbres en vert clair sont modélisés thermo-aérauliquement.

Pour la strate « boisée dense », quatre arbres cubiques sont équirépartis sur le sol (Figure 1c, en vert clair). La surface projetée au sol de la strate haute représente 36% de la surface au sol. Pour ces deux types de strate haute, afin que l'ombre produite par ces arbres soit considérée quelle que soit l'heure du jour, des arbres identiques ont été ajoutés autour des arbres centraux (cf. les arbres en vert foncé sur Figure 1). La position de ces arbres périphériques a été choisie pour que, par effet de symétrie, lorsque l'ombre des arbres centraux sortent de la surface au sol de 100m<sup>2</sup>, l'ombre des voisins y apparaissent. Cependant, pour ces arbres supplémentaires seuls les processus radiatifs sont considérés dans la simulation, ainsi tous les processus thermo-aérauliques (vent et évapotranspiration) ne sont pas pris en compte.

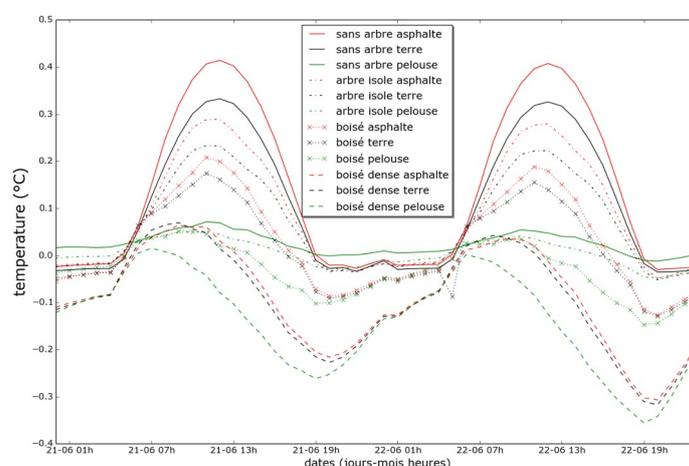
### 1.2. Modèle utilisé

Le modèle microclimatique SOLENE-microclimat (Malys 2012) réalise le couplage entre le modèle thermo-radiatif SOLENE et le modèle CFD Code\_Saturne. Il est utilisé pour modéliser explicitement les champs de température, de vitesse et d'humidité au sein de chacun des motifs. Afin de modéliser l'écoulement du vent, chacun des motifs est centré dans une veine numérique parallélépipédique de 50 m

de haut, 100 m de long et de 100 m de large. La taille des mailles est de un mètre au centre de la veine et de dix mètres sur les bords. Les simulations de chacun des motifs sont réalisées pour le 21 et 22 juin avec un pas de temps horaire. Pour initialiser les champs de température dans le sol, des calculs thermo-radiatifs (sans couplage avec Code\_Saturne) sont réalisés pour les 2 jours précédents. La température et l'humidité de l'air imposées en entrée de la veine numériques sont issues des relevés de l'année 2010 de la station Météo-France de l'aéroport de Bouguenais. Une loi puissance représentant la rugosité du milieu urbain autour du parc, est utilisé pour définir le profil de vitesse du vent en entrée de la veine. La vitesse et l'orientation du vent sont fixé arbitrairement à 1,5m/s et Nord-Est (le rafraîchissement produit par le motif est considéré identique quel que soit la direction du vent incident).

## 2. Résultats de simulation des motifs élémentaires

On définit  $\Delta T_{meteo}$ , la différence entre la température moyenne de l'air d'un motif (entre 0 et 6m) par rapport à la température météorologique utilisée en entrée ( Figure 2).



**figure 2.** Différence entre la température de l'air issue du fichier météo et la température moyenne simulée du motif (entre 0 et 6 m d'altitude).

Cette variable permet d'identifier lorsqu'un motif réchauffe l'air ( $\Delta T_{meteo} > 0$ ) et lorsqu'il le refroidit ( $\Delta T_{meteo} < 0$ ). Le motif «boisé dense pelouse» est le seul à être constamment en mode rafraîchissement, les autres motifs ayant un couvert «boisé dense» subissant un léger réchauffement (jusqu'à 0.05°C de 7h à 12h). Seuls les motifs avec des strates hautes «boisée dense» et «boisée» ont des rafraîchissements significativement supérieurs à 0.05°C. Tous les motifs avec pelouse ne chauffent pas plus de 0.05°C. L'utilisation de pelouses seule ne permet pas un réel rafraîchissement. Elle tend donc plutôt à minimiser le réchauffement de l'air, tandis que la présence des arbres permet de réellement rafraîchir l'air.

## 3. Modélisation simplifiée d'un parc urbain

### 3.1. Taux de rafraîchissement d'un motif élémentaire

L'objectif de notre travail est de mettre une place une méthodologie pour caractériser le rafraîchissement induit par un parc en considérant qu'il est constitué d'un ensemble de motifs élémentaires. La diminution de température induite par un parc ne pouvant être considérée comme la somme des modifications de température induites par chaque motif le composant, l'hypothèse faite est que l'air traversant un parc infiniment grand composé d'un seul et même motif tend à se rafraîchir jusqu'à une valeur seuil propre à ce motif (Rodler 2020). Les surfaces étant le lieu des échanges de chaleur avec l'atmosphère, l'air ne peut s'y rafraîchir (ou s'y réchauffer) au-delà de la température de surface du motif.

On définit alors le taux de rafraîchissement  $Ra_i$  de la manière suivante :

$$Ra_i = \frac{Tin_i - Tout_i}{Tin_i - Ts_i} \quad \text{Équation 1}$$

où  $Tin_i$  et  $Tout_i$  sont respectivement les températures moyennes de l'air entrant et sortant du motif  $i$ , et  $Ts_i$  la température moyenne des surfaces du sol dans ce motif.

### 3.2. Taux de rafraîchissement de $n$ motifs élémentaires identiques

Les résultats des simulations microclimatiques nous ont permis de calculer les taux de rafraîchissement et températures de surfaces de chaque motif pour chaque pas de temps. Pour un enchaînement de  $n$  motifs élémentaires identiques alignés les uns à la suite des autres dans la direction du vent (Figure 3), on considère que  $Ts_i$  et  $Ra_i$  sont les mêmes pour l'ensemble des motifs.

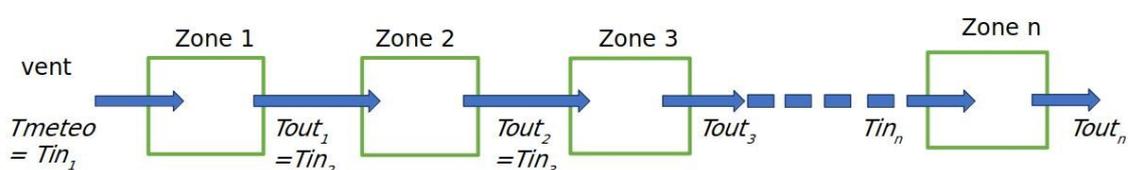


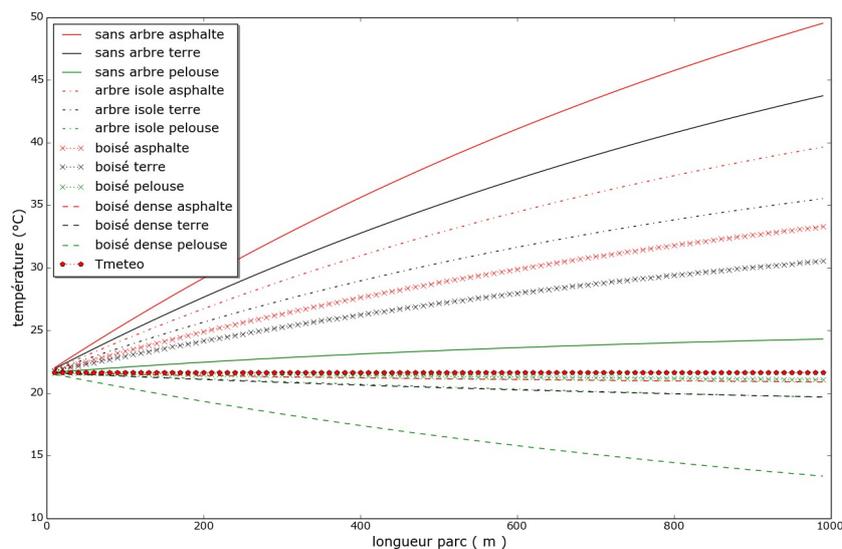
figure 3. Représentation de  $n$  motifs élémentaires parcourus successivement par une masse d'air

La température de l'air entrant dans le motif  $n$  est égale à la température de l'air sortant du motif  $n-1$ . On peut alors exprimer ces deux températures grâce à l'équation 2. Par récurrence, la température de l'air sortant du motif  $n$  est exprimée en fonction de la température de l'air entrant dans le premier motif, soit la température mesurée par la station météo (Équation 3).

$$Tout_n = Tin_{n-1}(1 - Ra) + RaTs \quad \text{Équation 2}$$

$$Tout_n = Tmeteo(1 - Ra)^n + (1 - (1 - Ra)^n)Ts \quad \text{Équation 3}$$

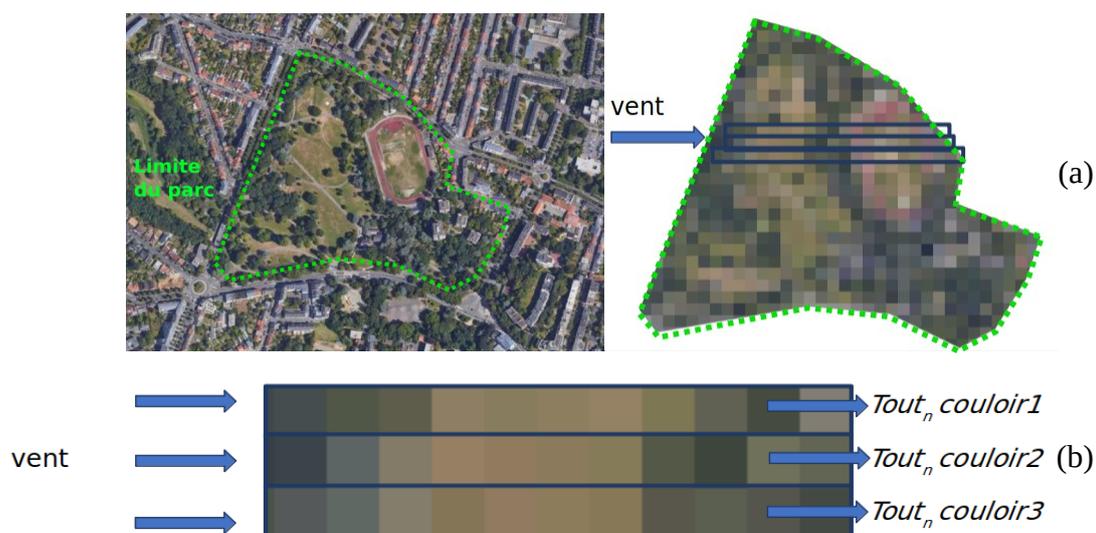
En considérant un parc de composition homogène large de 10m, on peut déterminer la température d'air de sortie du parc en fonction de sa longueur et de sa composition pour une heure donnée et une vitesse de vent donnée (Figure 4). Avec un tel méta-modèle, une masse d'air en contact d'une surface de parc entièrement composé d'un parc d'1 km de long entièrement composé de motif « boisé dense pelouse » induirait une diminution de la température de l'air de 12°C.



**figure 4.** Évolution de la température moyenne de l'air (entre 0 et 6 m) sortant d'un parc en fonction de sa longueur pour les différents motifs élémentaires à 12h le 21 juin avec une vitesse de vent de 1,5m/s

### Conclusion et perspectives

Le taux de rafraîchissement pour chaque motif élémentaire a été évalué à partir des résultats de simulations microclimatiques. Ces valeurs sont valables pour des conditions météorologiques qui correspondent à celles du 21 Juin, et une vitesse de vent 1.5 m/s. La suite de ce travail consiste à réaliser des simulations en faisant varier les conditions météorologiques (vitesse de vent, température...) pour construire un abaque de valeurs de taux de rafraîchissement et températures de surface valable pour toutes conditions. Ensuite le travail portera sur la détermination des températures d'air en sortie d'un parc de forme et de composition hétérogène. Nous imaginons le décomposer en couloir de vent de 10m de large pour une direction de vent donnée (cf. Figure 5). Chaque couloir étant composé de n motifs élémentaires, les abaques permettrons de calculer un taux de rafraîchissement moyen et une température de surface moyenne de chaque couloir pour calculer une température d'air sortant du parc en fonction de la direction du vent. Ces considérations impliquent donc que les transferts thermiques et de masse entre couloirs de vent sont négligés, que la modification de vitesse de vent n'est pas considérée dans l'enchaînement des motifs et que le rafraîchissement du motif est identique quel que soit la direction du vent le traversant.



**figure 5.** (a) Exemple de décomposition d'un parc (parc de Procé à Nantes) en motifs élémentaires et groupement de ces motifs en « couloir de vent » dans la direction du vent et (b) température d'air moyenne sortant de chacun de ces couloirs

### Remerciement :

Nous remercions l'ADEME pour le support financier du projet Coolparks dans le cadre de l'appel à projets MODEVAL URBA 2019. Nous remercions Adrien Vanel, stagiaire ingénieur en simulation, pour sa contribution à l'amélioration des modèles utilisés dans ce projet.

### Bibliographie

- Bodenan P., Bernard J., Morille B., Rodler A., Guernouti S., Gros A.. 2021. *Définition d'une méthodologie permettant la cartographie des parcs et leur classification*. p 55.
- Lewis D., 2016. *Cities leading the way to a better future. State of European Cities Report*. European commission.
- Malys, L. 2012 « Évaluation des impacts directs et indirects des façades et des toitures végétales sur le comportement thermique des bâtiments ». PhD thesis, Ecole Centrale de Nantes (France).
- Morille, B., et Musy, M..2017. « Comparison of the Impact of Three Climate Adaptation Strategies on Summer Thermal Comfort – Cases Study in Lyon, France». *Procedia Environmental Sciences, Sustainable synergies from Buildings to the Urban Scale*, **38** 619-26.
- Rodler, A., Bernard J., Morille B., Bodenan P., Guernouti S. et Musy M.. 2020« CoolParks : aide à la conception de parcs et de formes urbaines pour optimiser le rafraîchissement urbain ». In *33ème colloque de l'association internationale de climatologie*, édité par Université Rennes 2, 595-600. Actes colloque AIC Rennes 2020. Rennes, France.
- Yang, J.,Hu X., Feng, H., et Marvin, S.. 2021 «Verifying an ENVI-Met Simulation of the Thermal Environment of Yanzhong Square Park in Shanghai». *Urban Forestry & Urban Greening* **66**.