

# LA VÉGÉTALISATION DES VILLES : MIEUX QUE LA CLIMATISATION ?

Pierre Labarbe

## Parties des programmes de physique-chimie associées

Programme d'enseignement scientifique de la classe terminale générale : 1.2 La complexité du système climatique

Programme de spécialité physique-chimie de la classe terminale générale : L'énergie : conversions et transferts

Programme de sciences physiques, complément des sciences de l'ingénieur de terminale générale : L'énergie : conversions et transferts

Programme de physique-chimie et mathématiques de terminale STI2D : Énergie

Programme de sciences physiques et chimiques en laboratoire de terminale STL : Conversions et transferts des flux d'énergie

**Mots-clés :** bilan radiatif, bilan d'énergie, îlot de chaleur urbain, végétation, végétalisation, ville

## INTRODUCTION

Les grandes métropoles deviennent parfois très inconfortables en cas de fortes chaleurs. Certaines civilisations y résistent mieux car elles ont depuis longtemps adapté leur rythme de vie ou l'architecture de leurs bâtiments. Ainsi, les maisons et immeubles méditerranéens sont souvent tournés vers l'intérieur et organisés autour de patios ombragés et frais. Comment résister à une canicule dans une ville qui n'est pas conçue pour cela ? Il est bien sûr possible d'équiper davantage de bâtiments de système de climatisation, mais au prix d'un bilan carbone médiocre. Une solution plus durable pourrait résider dans la végétalisation de l'espace urbain.



Figure 1 – Vue sur le quartier de la Défense à Paris et sur le Bois de Boulogne, l'un des poumons de la capitale.  
Source : Wikimedia Commons, licence CC-BY-2.0, Patrick Janicek.

## POURQUOI FAIT-IL SI CHAUD EN VILLE EN ÉTÉ ?

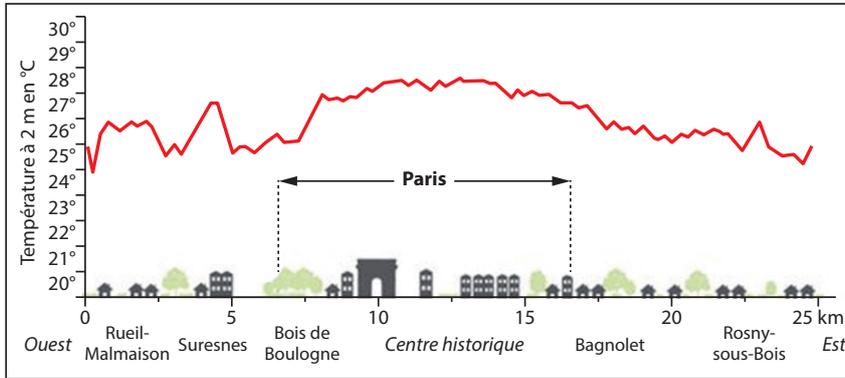
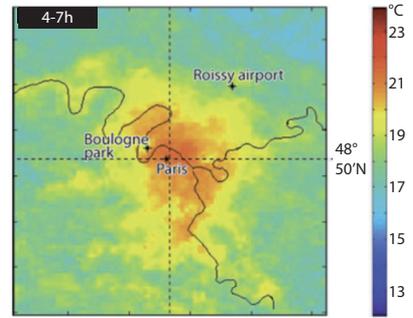
### Les îlots de chaleur urbains (ICU)

#### Qu'est-ce qu'un îlot de chaleur urbain ?

La notion d'îlot de chaleur urbain (ICU) fait référence à une élévation localisée de la température en ville, par rapport aux zones rurales environnantes. Cette notion est née au XIX<sup>e</sup> siècle mais c'est l'apparition des caméras thermiques infrarouge dans les années 70 qui a permis de le mettre en évidence de manière systématique.

Il est flagrant qu'il fait plus chaud en ville qu'à la campagne. Sur la thermographie de la **Figure 2**, on constate par exemple qu'il a fait 5 à 6 °C plus chaud au cœur de Paris (21–22 °C) que dans la campagne environnante (16–17 °C) la nuit du 9 août 2003.

**Figure 2 – Thermographie de Paris et ses alentours (Landsat-5 TM, 9 août 2003, sur l'intervalle 4-7 h) : Paris et sa proche banlieue constituent un îlot de chaleur urbain.**  
Source : Dousset et coll. (2011), Int. J. Climatol., 31 : 313-323.



**Figure 3 – Mesure de la température de l'air le long d'un trajet linéaire de 25 km de l'ouest à l'est de Paris.**  
Source : Météo France, CSTB, Mairie de Paris.

Une autre manière d'exhiber l'élévation de température en ville consiste à réaliser, à l'aide d'un dispositif mobile, un « transect » de la température de l'air à 2 m du sol. La forme bombée de la courbe de température ainsi obtenue sur la **Figure 3** montre de manière assez visuelle que la température est plus élevée au centre de Paris qu'à 10/15 km à l'Est (28 °C contre 25 °C). Ce transect met également en évidence des

fluctuations locales, telle une température plus élevée au centre de certains centres ville (comme à Suresnes : 27,5 °C) ou une baisse significative lors de la traversée des espaces verts (1 à 1,5 °C de moins dans le bois de Boulogne juste à côté de Suresnes).

### De quels paramètres dépend un îlot de chaleur urbain ?

Cet îlot de chaleur est systématique dans les métropoles. Il suit un cycle journalier et il est maximal en fin de nuit. Il est aussi d'autant plus intense que la ville est grande et peuplée. À population égale, il est plus intense en Europe que dans les régions tropicales, et plus intense encore en Amérique du Nord. On constate de plus qu'en cas de canicule, la différence de température augmente. Ainsi à Paris, elle est de l'ordre de 4 °C en temps normal. En 2003, elle a atteint 8 °C plusieurs jours de suite. Cela génère de l'inconfort mais aussi des problèmes de santé. Cela constitue même un danger pour les personnes les plus vulnérables.

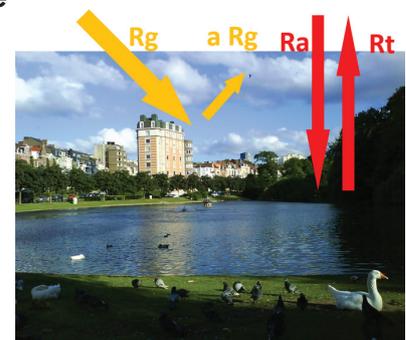
### Bilans énergétiques comparés

Comment expliquer l'existence d'ICU ? Analysons les échanges d'énergie en jeu en réalisant le bilan énergétique du sol.

#### Forçage radiatif et échanges d'énergie d'un élément de surface urbaine

La première source d'énergie du sol est d'origine radiative. Le sol reçoit en effet un rayonnement de la part du Soleil, majoritairement dans le domaine du visible. Le rayonnement solaire global  $R_g$  est en moyenne de l'ordre de 340 W/m<sup>2</sup>, mais une grande partie est réfléchi vers l'espace. Le rayonnement effectivement reçu par le sol est ainsi de l'ordre de  $(1 - a)R_g$  soit 240 W/m<sup>2</sup>, où  $a = 0,3$  est l'albédo moyen du sol (voir **Figure 4**).

**Figure 4 – Bilan des échanges radiatifs en ville.**  
Le rayonnement net reçu par le sol est  $R_n = (1 - a)R_g + R_a - R_t$



En retour, du fait de sa température, le sol émet vers l'atmosphère un rayonnement  $R_t$ , qui lui est plutôt dans l'infrarouge. Celui-ci vaut en moyenne 390 W/m<sup>2</sup>. Ce rayonnement est en partie capté par les gaz à effet de serre de l'atmosphère, qui émet en retour vers le sol un rayonnement  $R_a$  de l'ordre de 150 W/m<sup>2</sup>. En moyenne sur Terre, le bilan radiatif, appelé rayonnement net  $R_n = (1 - a)R_g + R_a - R_t$  est nul, ce qui fait que

la température moyenne à la surface de la Terre est quasi constante. Ce rayonnement net est cependant soumis à des variations intra journalières : il culmine à quelques centaines de  $W/m^2$  le jour (ce qui a pour effet un réchauffement radiatif de la surface) et est négatif la nuit (ce qui entraîne un refroidissement radiatif).

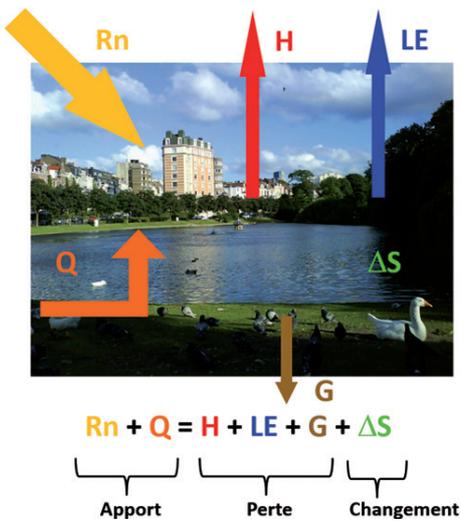


Figure 5 – Bilan d'énergie d'un élément de surface urbaine.

En ville, il existe d'autres sources d'énergie pour le sol que le rayonnement net  $R_n$ . Ce sont des sources de chaleur internes  $Q$  dues à la circulation automobile, à la climatisation ou au chauffage, à des activités industrielles, etc. L'ensemble de ces sources d'énergies se convertissent en trois types de flux. Le premier est un flux de chaleur  $G$ , qui, par conduction, pénètre en profondeur dans le sol. Les deux autres sont échangés avec l'atmosphère :

- ▶ un flux de chaleur sensible  $H$  (lié au changement de température du sol, du type  $C\Delta T$ , où  $C$  est la capacité calorifique du sol – ici, par unité de surface – et  $\Delta T$  la modification de température du sol) ;
- ▶ un flux de chaleur latente  $LE$  (lié à l'évaporation de l'eau en surface).

Le bilan d'énergie amène à introduire un terme de stockage interne  $\Delta S$  par l'élément de surface urbaine considéré, qui est la différence entre l'apport d'énergie  $Q + R_n$  et les pertes par les divers flux  $G + H + LE$  (voir Figure 5).

### Bilans énergétiques comparés d'une surface urbaine et d'une surface végétalisée

Pour interroger l'intérêt de végétaliser les villes, prenons deux situations extrêmes et comparons les bilans énergétiques associés (voir Figure 6). La scène A correspond à une parcelle entièrement végétalisée et la scène B à une surface sans végétation.

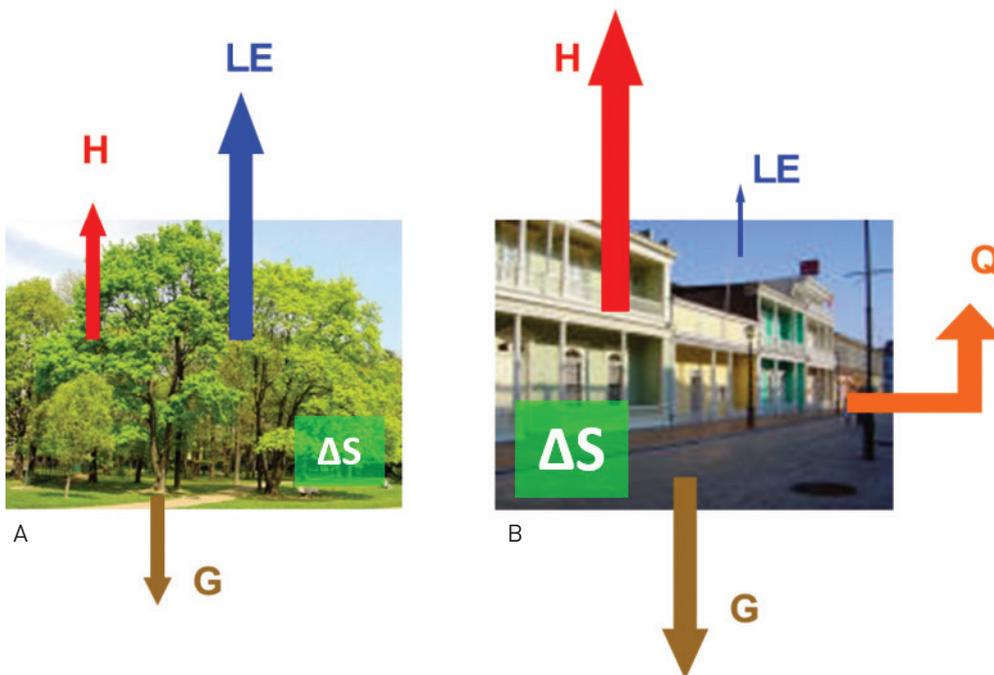


Figure 6 – Bilans énergétiques comparés d'une surface végétalisée (A) et d'une surface purement urbaine (B).

Une ville possède avant tout des sources de chaleur  $Q$  sans équivalent dans un milieu végétalisé. Les matériaux de construction possèdent par ailleurs une plus grande inertie thermique que les végétaux, ce qui contribue à augmenter le terme  $\Delta S$ . Les plantes n'emmagasinent en effet que très peu de chaleur.

En milieu urbain, le bilan radiatif net  $R_n = (1 - a)R_g + R_a - R_t$  est par ailleurs plus élevé en journée que dans un milieu végétalisé. L'albédo de nombreux matériaux urbains (comme le bitume dont l'albédo peut descendre à 0,05) est en effet plus faible que celui de la plupart des végétaux. Ceci contribue à augmenter

le terme  $(1 - a)R_g$ . De plus, la présence de bâtiments élevés diminue les transferts vers l'atmosphère, ce qui a pour effet de diminuer le terme  $R_{\lambda}$ . Une partie du rayonnement émis par les bâtiments n'est pas réémis vers l'atmosphère, mais vers la rue, le sol et les autres bâtiments. On parle alors de « canyon urbain ». Le flux de chaleur latente  $LE$  est quant à lui plus faible en ville, car les surfaces sont la plupart du temps presque sèches.

Sur les deux premiers termes du bilan énergétique évoqués ( $Q$  et  $\Delta S$ ), il sera difficile de modifier les choses en végétalisant la ville. En revanche, augmenter la présence de végétation en ville pourrait permettre de changer les contributions du bilan radiatif net  $R_n$  et du flux de chaleur latente  $LE$  au bilan énergétique. C'est ce que nous allons à présent développer.

## LA VÉGÉTATION PEUT-ELLE RAFRAÎCHIR LES VILLES ?

### Mesures de l'effet de la végétalisation

Les mesures de température effectuées dans l'agglomération parisienne confirment l'impact de la végétation (voir Figure 3). Mais on peut encore aller plus loin pour exhiber cette corrélation. Dans les villes de

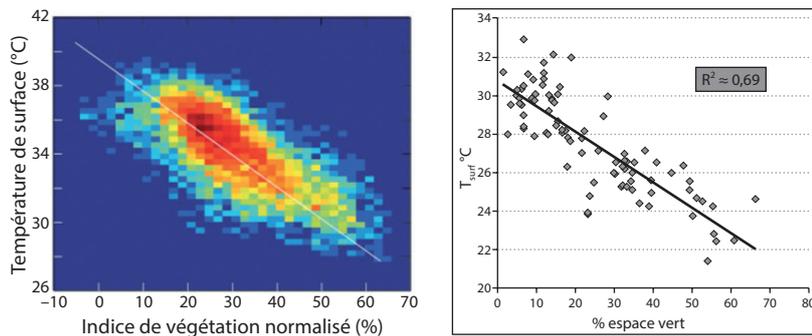


Figure 7 – Températures de surface en fonction du taux d'espaces verts dans les villes des Rotterdam (à gauche) et de Paris (à droite) : plus une zone est végétalisée, plus sa température de surface diminue et ce, de manière quasi linéaire. Sources : (à droite) réimprimé à partir de *The surface heat island of Rotterdam and its relationship with urban surface characteristics*, *Resourc. Conserv. Recy.*, Klock et coll., copyright 2012, avec l'autorisation d'Elsevier ; (à gauche) : PARIS, août 2003 (Dousset et coll., 2011).

Paris et de Rotterdam, on a croisé les mesures de température de surface et le taux de végétalisation de ces surfaces. Le résultat est frappant : que ce soit à Paris ou à Rotterdam, la température diminue quasi linéairement avec le taux de végétalisation (voir Figure 7). À Rotterdam, on constate par exemple une diminution d'environ  $0,13\text{ °C} / \%$  de surface végétalisée à cette période de l'année, ce qui peut conduire à des écarts de température de  $8/9\text{ °C}$  entre les zones les plus minérales et les surfaces les plus végétalisées.

La présence de végétation contribue en premier lieu à intercepter une partie du rayonnement solaire par effet d'ombrage, l'empêchant ainsi de réchauffer les surfaces bâties. Elle augmente aussi le flux de chaleur latente, via la transpiration foliaire notamment. Cet effet, consommateur d'énergie, participe lui aussi à la diminution de la température de surface. Il faut cependant noter que les zones les plus vertes sont aussi probablement celles qui possèdent le moins de sources de chaleur interne  $Q$ . Il faut donc entrer davantage dans le détail pour isoler le seul effet d'une végétation « ajoutée ».

### Effets des différentes formes de végétalisation urbaine

#### Les parcs urbains

Il est facile d'en faire l'expérience, en cas de grande chaleur, se réfugier dans un parc est une bonne idée pour se rafraîchir. Dans un grand parc de 2–3 km de large, au petit matin d'une journée chaude, il peut faire  $5\text{ °C}$  de moins au cœur du parc qu'en bordure. Un deuxième effet est constaté : la présence d'un parc entraîne une baisse de la température en périphérie parc sur une zone dont l'étendue est de l'ordre de celle du parc. Pour rafraîchir une ville, à surface égale, quelques grands parcs sont donc plus efficaces que plusieurs petits.

#### Les arbres de rue

Par effet d'ombrage, la présence d'arbres peut contribuer à limiter l'apport d'énergie radiative sur les piétons, le sol et les murs ombragés. L'effet sur la température n'est en revanche significatif qu'en présence d'un ensemble d'arbres alignés. La baisse peut alors atteindre  $2\text{ à }3\text{ °C}$ , l'effet étant d'autant plus marqué que la température de l'air est élevée. La zone d'influence de ce type de végétalisation est cependant quasi limitée à la zone plantée. Ce type de végétation est surtout intéressant en journée.

### **Végétalisation des toitures et des murs**

L'impact de ce type de végétalisation est bien documenté et il en ressort plusieurs choses. La première est qu'une façade ou un mur végétalisé constituent un bon isolant qui contribue à une baisse de consommation énergétique des bâtiments. Le confort thermique au niveau du sol est lui aussi amélioré par effet radiatif : un mur végétalisé s'échauffe moins qu'un mur standard et rayonne ainsi moins vers les piétons. La baisse de température entraînée par ce type de végétation peut atteindre localement 2 °C.

### **Végétalisation basse**

Des simulations montrent que l'engazonnement de surfaces urbaines produit un effet plus limité. Même si on avait végétalisé 75 % des sols hors chaussée (trottoirs, ronds-points), ce qui semble utopique, la température n'aurait baissé que de 1 à 2 °C maximum pendant la canicule de 2003 à Paris. On peut cependant espérer d'un ensemble de plantations basses une baisse de température allant jusqu'à 1 °C dans les zones végétalisées. Ce type de végétation a moins d'intérêt que les arbres de rue en journée, mais contribue à tempérer les villes la nuit.

## **CONCLUSION**

Il n'y a aucun doute, la végétation permet la baisse de température d'une ville en cas de forte chaleur. C'est avant tout les parcs urbains qui y contribuent, mais toutes les autres formes de végétation ont leur intérêt, d'autant que leur bénéfice est aussi visuel ou auditif. Une autre piste pour rafraîchir les villes réside dans le choix des matériaux de construction. Ainsi, des matériaux plus clairs et plus réfléchissants permettent d'augmenter l'albédo. Des revêtements poreux peuvent retenir un peu d'eau. L'utilisation de l'eau (bassins, brumisateurs) et la ventilation sont aussi des questions à poser. La régulation de la température en ville doit donc s'envisager de manière transversale et interdisciplinaire.

## **SOURCES PRINCIPALES**

La chimie et les grandes villes, EDP Sciences, 2017, ISBN : 978-2-7598-2134-1, « Impact de la végétalisation sur le microclimat urbain et la qualité de l'air » par Yves Brunet,

<http://www.mediachimie.org/ressource/impact-de-la-v%C3%A9g%C3%A9tation-sur-le-microclimat-urbain-et-la-qualit%C3%A9-de-l%E2%80%99air>

Rayonnement thermique, bilan radiatif et effet de serre, un dossier proposé par le site ENS-eduscol Planet-Terre

<https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressources/dossiers-thematiques/bilan-radiatif-terre>

Thermographie de l'île de France en été

<https://www.apur.org/fr/geo-data/thermographie>

Rafraîchissement des villes : de quelles connaissances avons-nous besoin ?

<https://www.ademe.fr/rafraichissement-villes-connaissances-besoin>

**Pierre Labarbe** est professeur agrégé de physique-chimie

**Comité éditorial** : Danièle Olivier, Jean-Claude Bernier et Grégory Syoen