

# Confort thermique en milieu urbain

## Quelques outils disponibles pour l'aide à la décision ?

« Cahier des participants » réalisé pour l'atelier du 14 février 2017 destiné aux acteurs de l'aménagement



Contributeurs :

Luce Ponsar et Béatrice Couturier (métropole de Lyon)

Philippe Jary et Cyril Pouvesle (CEREMA)

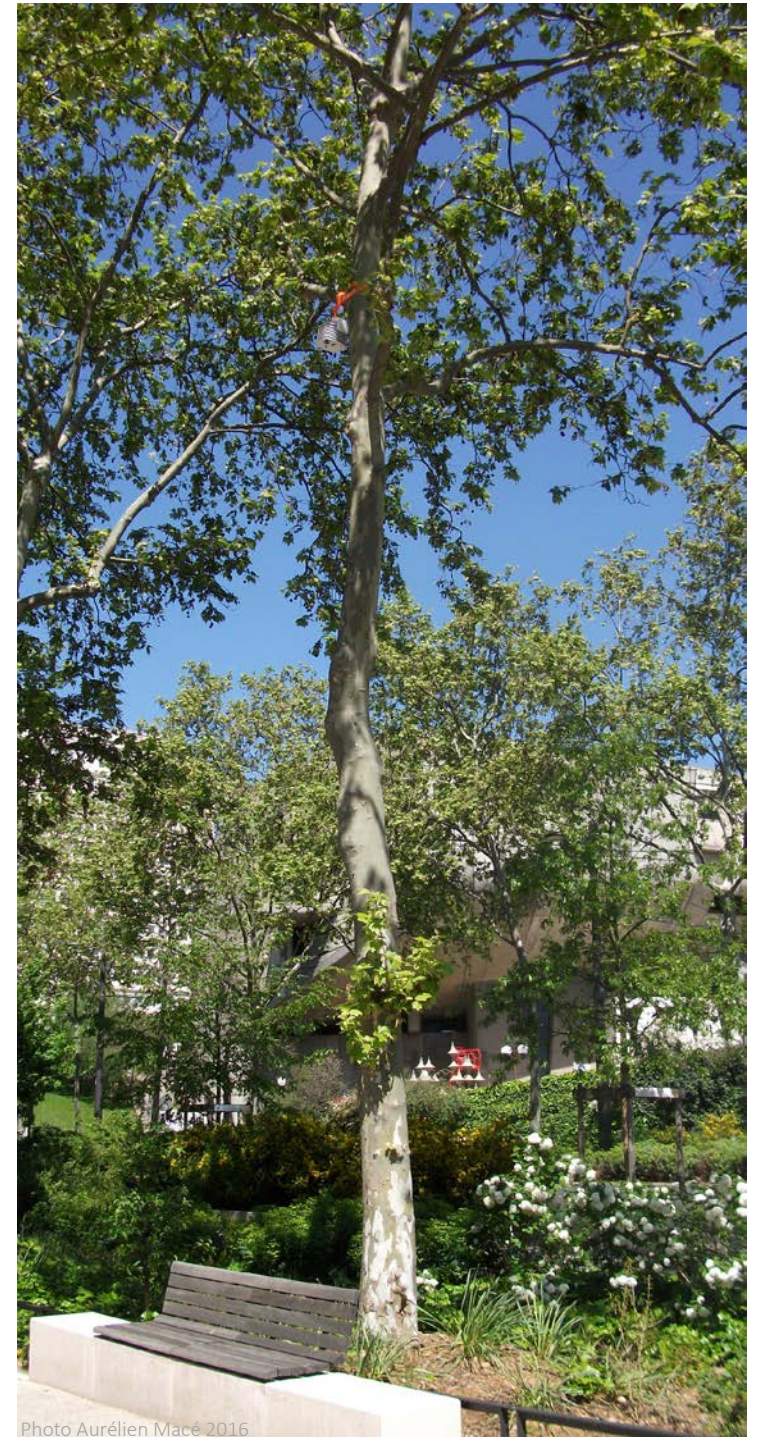


Photo Aurélien Macé 2016

# SOMMAIRE

## A - Métrologie

A1 - Métrologie – télédétection satellitaire ou spatiale.....	3
A2 - Métrologie – Station météorologique fixe.....	4
A3 - Métrologie – Capteurs simples (T°, H) .....	5
A4 - Métrologie – Station de mesure du confort thermique.....	6
A5 - Métrologie – Mesure mobile .....	7
A6 - Métrologie – Mesure radiative simple, température de surface.....	8

## B – Modélisation

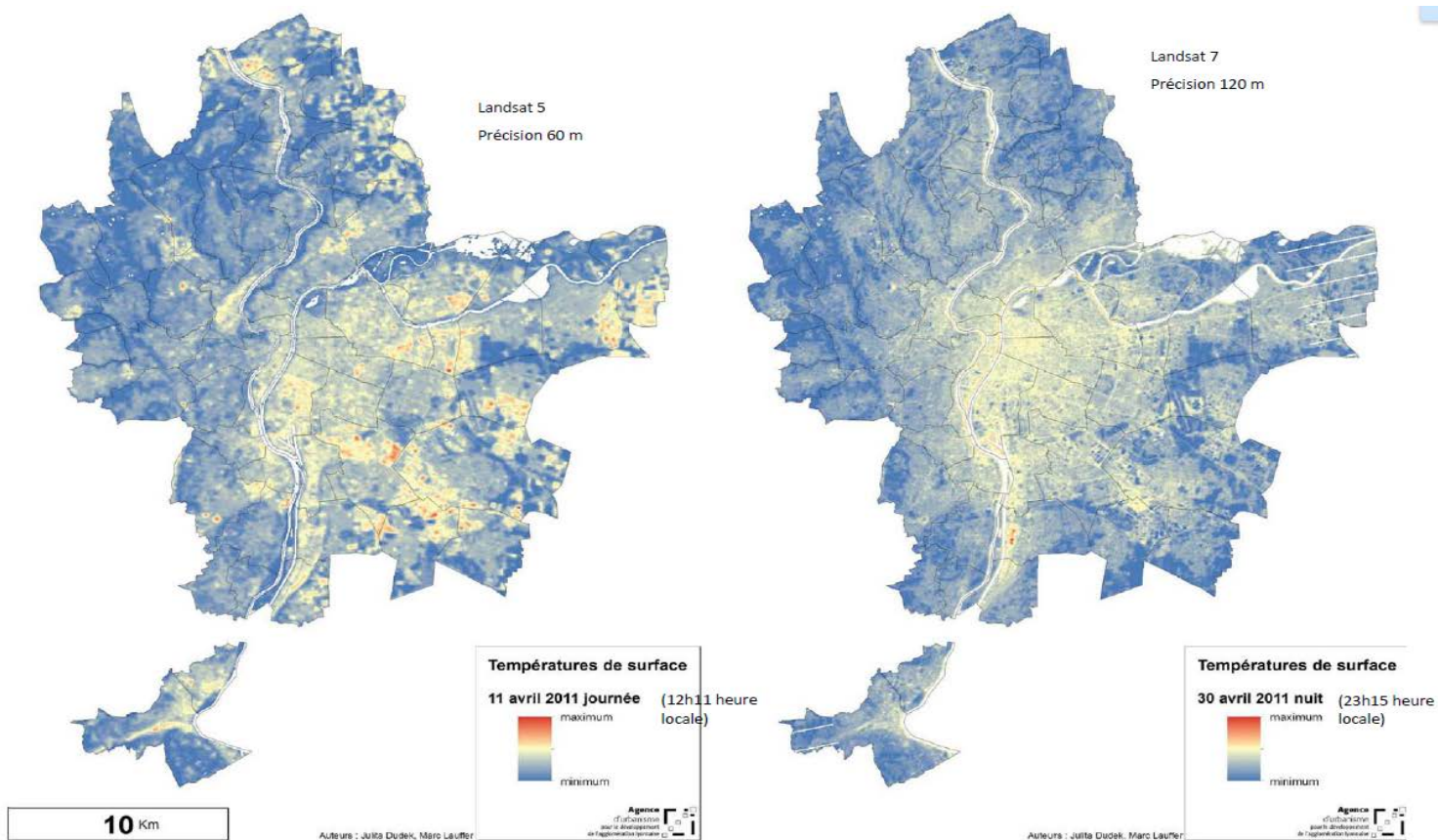
B1 - Modélisation – Les modèles climatiques à l'échelle de l'agglomération.....	9
B2 - Modélisation – classification « LCZ » à l'échelle de l'agglomération.....	10
B3 - Modélisation – Les modèles climatiques à l' échelle du quartier.....	11
B4 - Modélisation – Modèles aérauliques.....	12
B5 – Simulation solaire / ensoleillement / Héliodon.....	13

C - Indicateurs simplifiés.....	14
---------------------------------	----

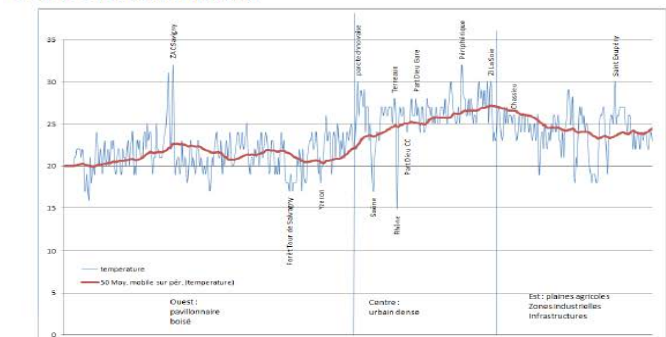
Les autres modèles.....	15
-------------------------	----

Annexe : Les paramètres du confort thermique estival .....	16
------------------------------------------------------------	----

# A1 - Météologie – télédétection satellitaire ou spatiale



Croisement de l'occupation du sol et de la température de surface (Julita Dudek, Lyon 3 et Agence d'Urbanisme de Lyon)



« Transect » de la température en traversant l'agglomération



## Échelle

Quartier - Agglomération

## Généralité

Les cartes satellites infrarouge (Landsat, spot, quickbird...) donnent accès à une information à une grande échelle et à haute résolution (maille 60m, voire 30m pour les plus récentes)

## Sources – méthodes d'acquisition

Les photos infra-rouges des satellites sont gratuites, mais il faut effectuer un traitement informatique pour obtenir les températures de brillance puis de surface. Ce travail peut être fait par un BE ou une université.

## Intérêt :

Elles permettent de hiérarchiser les zones qui « produisent de la chaleur » et celles qui restent fraîches en surface.

## Pour la Métropole de Lyon :

Les cartes satellites issues de Landsat 7 (maille 60m le jour, 120m de nuit) sont disponibles sur le site [data.grandlyon.com](http://data.grandlyon.com)

## Coût :



## A2 - Météologie – Station météorologique fixe

Photos des stations - <http://www.infoclimat.fr> - Lyon 07 (69)

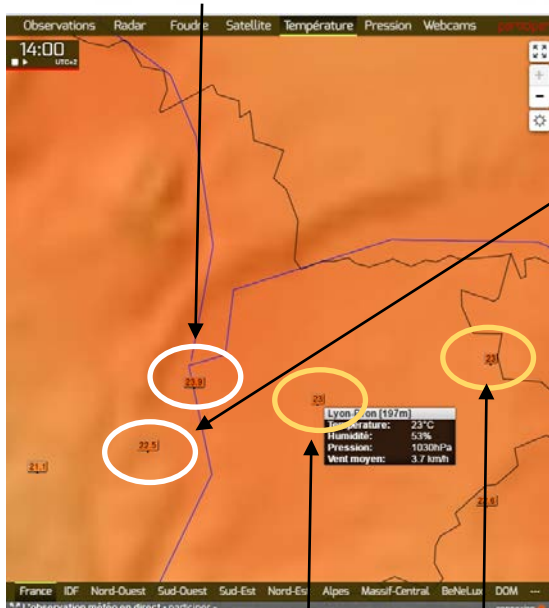


ENS, Lyon7

<http://www.infoclimat.fr> répertorie les stations météorologiques professionnelles et amateurs.

Des règles expertes existent pour positionner des stations météo en milieu urbain et pouvoir cartographier les microclimats.

La mesure météorologique « dans les règles de l'art » nécessite d'être à plus de 50m de distance des bâtiments et sur du gazon : cela limite de facto les mesures très « urbaines ». En effet, la ville est vue comme perturbatrice de la mesure climatique, qui sert à calibrer les modèles pour prévoir la météo à l'échelle régionale/départementale.



Stations Météo-France  
Bron et St-Exupéry

Photos des stations - <http://www.infoclimat.fr> - Saint-Genis-Laval (69)



Lycée Descartes,  
St genis laval

### Échelle

Agglomération

### Généralités

Les stations météorologiques fixes permettent d'avoir accès à un ensemble de mesures localisées. Les capteurs enregistrent température de l'air, vitesse du vent, hygrométrie etc. Leur maintenance et leur coût d'installation fait qu'il en existe peu en ville.

### Sources – méthodes d'acquisition

Les stations professionnelles et amateurs sont souvent reliées à un site permettant de publier la donnée, voir [www.infoclimat.fr](http://www.infoclimat.fr)

### Intérêt :

Les stations météo situées à l'extérieur de la ville peuvent servir de point de référence : en faisant la différence entre la situation de quartiers centraux et ce point de référence, on évalue l'effet d'Ilot de Chaleur Urbain.

### Pour la Métropole de Lyon :

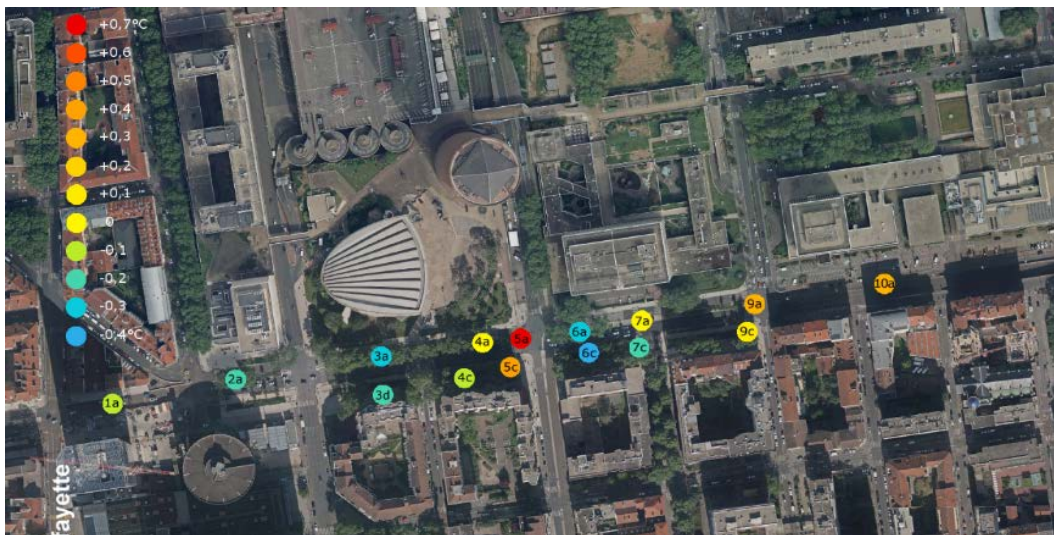
Les données de la station météorologique de Bron sont à acheter auprès de Météo France, les données historiques de St Exupéry sont gratuites (par tranche de 3h). Des lycées et écoles disposent aussi de stations et mettent à disposition l'information.

### Coût :



# A3 - Météologie – Capteurs simples (T°, H)

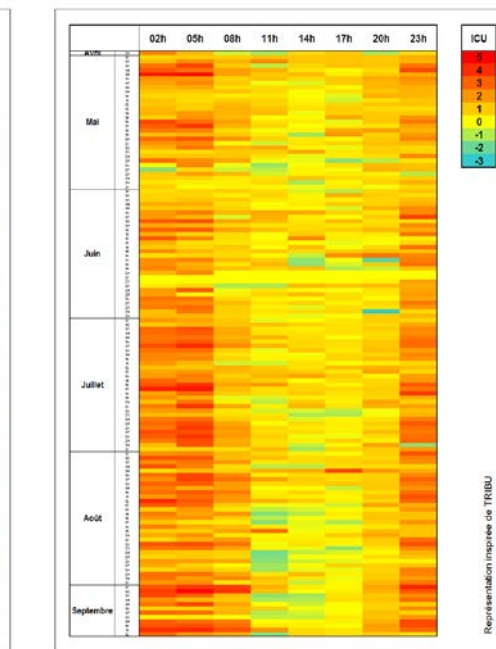
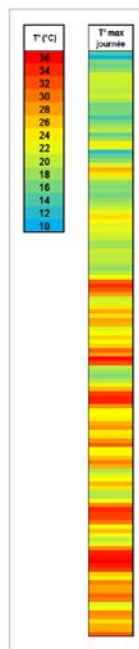
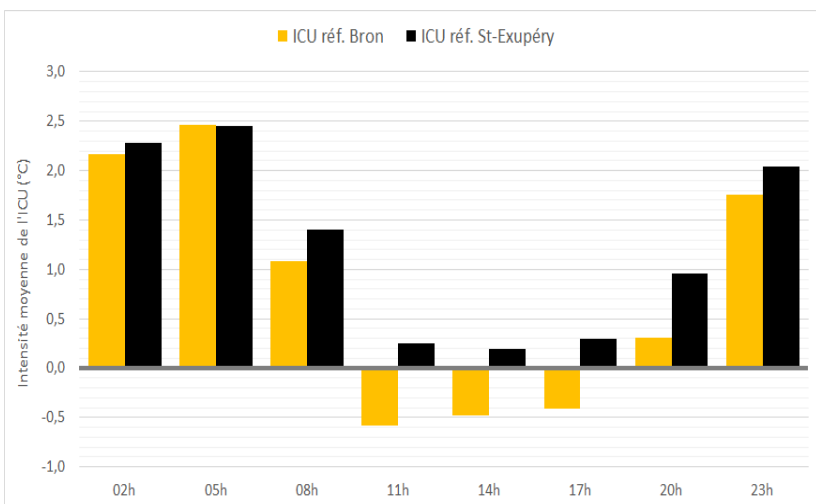
Mesures été 2016 sur la rue Garibaldi (Grand Lyon, Macé & Ponsar)



↑ Garibaldi, température de l'air, écarts à la moyenne des capteurs. Valeurs moyennes du 23 au 28 août 2016, de 8h à 20h.

↓ Représentation de l'intensité de l'ICU en « Tapis » (inspiré de TRIBU)

↓ Intensité de l'ICU en comparant la moyenne des capteurs aux stations de référence (Bron et St Exupéry)



## Échelle

Quartier - Agglomération

## Généralités

On peut utiliser en ville des capteurs météo à un coût moindre. Elles permettent de cartographier de manière plus fine le micro-climat d'un quartier, en se concentrant sur quelques paramètres physiques (ex : température de l'air).

## Sources – méthodes d'acquisition

Plusieurs capteurs existent dans le commerce avec une précision de +/- 0.1°C permettant de détecter les effets locaux (végétation, etc). Les capteurs doivent être protégés des rayons (abris météo) et placés à au moins 1 m des surfaces très rayonnantes (ex : mur en béton). Plusieurs bureaux d'études proposent ces prestations, incluant l'analyse de la donnée.

## Intérêt :

Obtenir une cartographie du quartier avec ses « points chauds » et « points froids » ; déterminer l'effet d'ICU du quartier comparé à une station de référence ; calibrer une modélisation, etc.

## Pour la Métropole de Lyon :

La Métropole dispose de 25 capteurs de température et humidité avec leurs abris météo : ils peuvent enregistrer une donnée horaire pendant 6 mois.

## Coût :



## A4 - Métrologie – Station de mesure du confort thermique



← Station permettant de mesurer le WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) sur la rue de la Buire, Veolia 2012.

Échelle UTCI (°)	Niveau de stress
au-dessus de +46	Stress thermique extrême
+38 à +46	Stress thermique très élevé
+32 à +38	Stress thermique élevé
+26 à +32	Stress thermique modéré
+9 à +26	Pas de stress thermique

↓ Station mobile du Grand Lyon pour mesurer l'UTCI\*, 2016



Valeurs UTCI mesurées sur les berges du Rhône (Lyon) le 19 juillet 2016.



\* L'UTCI (Universal Thermal Comfort Index) calcule les échanges de chaleur entre le corps humain et son environnement. Il intègre les paramètres météorologiques de température, humidité, vent et rayonnement. D'autres indicateurs existent (voir en annexe).

← L'ombre permet de gagner 10°UTCI alors qu'une surface fraîche (eau, matériau plus clair) joue sur ~2°UTCI.

Échelle  
Quartier

### Généralités

La température de l'air et l'humidité ne suffisent pas à exprimer le confort d'une personne. Pour se rapprocher au mieux du ressenti d'un passant ou d'un habitant, on peut utiliser des indices de confort thermique.

### Sources – méthodes d'acquisition

Instrumentation embarquée. Nécessite l'achat de matériel spécifique. Certains laboratoires (ICUBE à Strasbourg) et bureaux d'études proposent ces mesures.

### Intérêt :

Se rapprocher au plus fin de la mesure du confort thermique d'une personne : voir l'impact des parois rayonnantes, des sols, des façades, de l'ombre, de la végétation...

### Pour la Métropole de Lyon :

La Métropole dispose d'une station mobile permettant de mesurer l'UTCI. La mesure demande cependant une certaine expertise.

### Coût :



## A5 - Météologie – Mesure mobile



↑ Mesure piétonne pour le projet Eureka, Météo France



↑ Véhicule de mesures du CEREMA (thermoroute)



↓ Températures de l'air mesurées à vélo au Parc de la Tête d'Or, Lyon 6<sup>ème</sup> et Villeurbanne le 19 août 2016 (Grand Lyon).



-0.5°C



-1°C



ref.

### Échelle

Quartier - Agglomération

### Généralités

La mesure mobile de paramètres climatiques (simples ou plus complexes) permet d'acquérir de la donnée le long d'un itinéraire sur une échelle de temps réduite.

### Sources – méthodes d'acquisition

Instrumentation embarquée : capteurs capables d'effectuer des mesures rapprochées (~1 à 10s) et géoréférencement (smartphone ou GPS professionnel). Peut s'effectuer à pieds, à vélo, en voiture.

### Intérêt :

Obtenir une « photo » du micro-climat à un moment donné le long d'un parcours (ou transect), sans avoir à laisser le matériel sur place. Limites : pour la mesure nocturne, nécessite une organisation spécifique.

### Pour la Métropole de Lyon :

La mesure de T° et Humidité peut être effectuée en mobile mais nécessite des compétences particulières. L'université Lyon 3 (géographie) dispose d'une dizaine de capteurs et a testé une méthode de mesure mobile participative à pied et à vélo, avec un public d'étudiants. La méthode pourrait être testée avec des habitants sur un quartier.

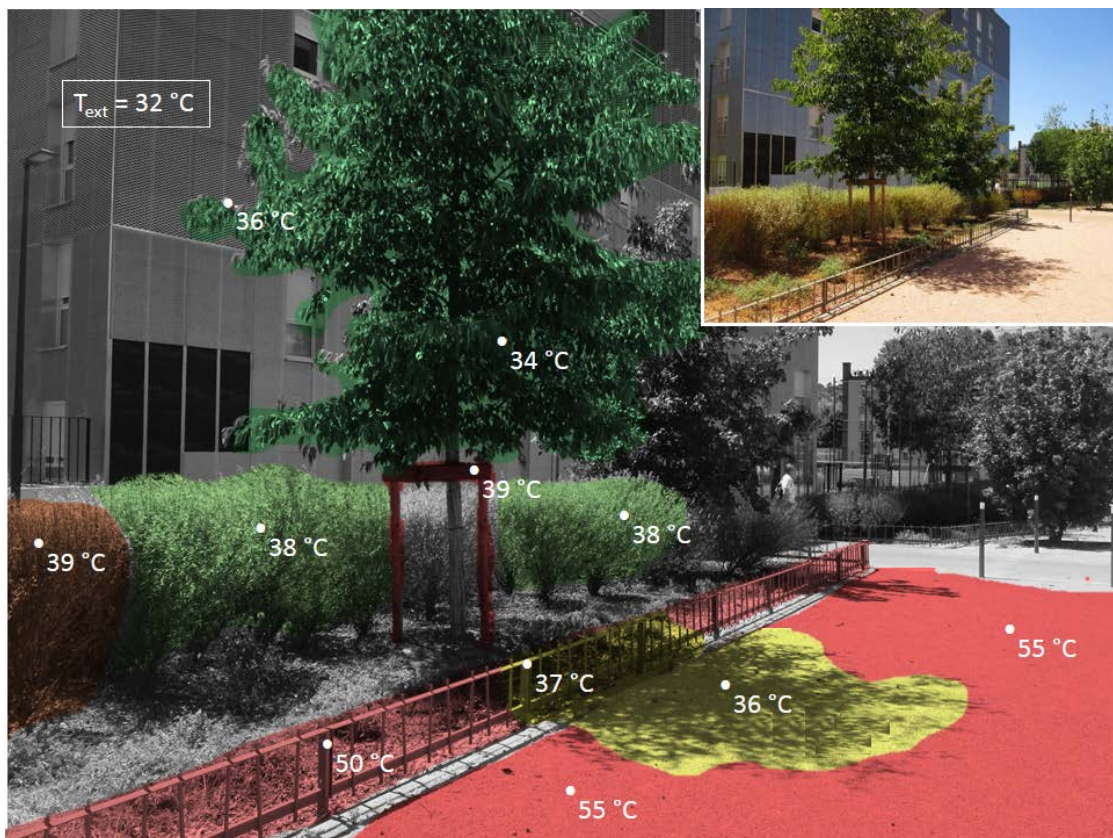
### Coût :



ref.

## A6 - Métrologie – Mesure radiative simple, température de surface

Mesures sur la ZAC du Bon Lait (Grand Lyon, 2015, Jolivet & Ponsar)



Pistolet Infra-rouge



### Échelle

Rue – Quartier

### Généralités

Les surfaces émettent des rayons infrarouges qui sont une indication de leur température. À l'aide d'un capteur Infra-rouge (pistolet ou caméra thermique), on peut mesurer les températures radiatives et en déduire les températures de surface.

### Sources – méthodes d'acquisition

Instrumentation embarquée : le « pistolet Infrarouge » à visée laser est une version simplifiée de la caméra thermique (plus onéreuse mais permettant d'avoir une image complète et pas un point). Plusieurs bureaux d'études sont en mesure d'effectuer cette prestation.

### Intérêt :

La mesure directe permet de caractériser l'impact local des matériaux et d'objectiver le ressenti (sous l'angle thermique). On peut ainsi constituer une 'banque de données matériaux' permettant d'ajouter un critère de choix.

### Pour la Métropole de Lyon :

La collectivité dispose d'un pistolet Infrarouge.

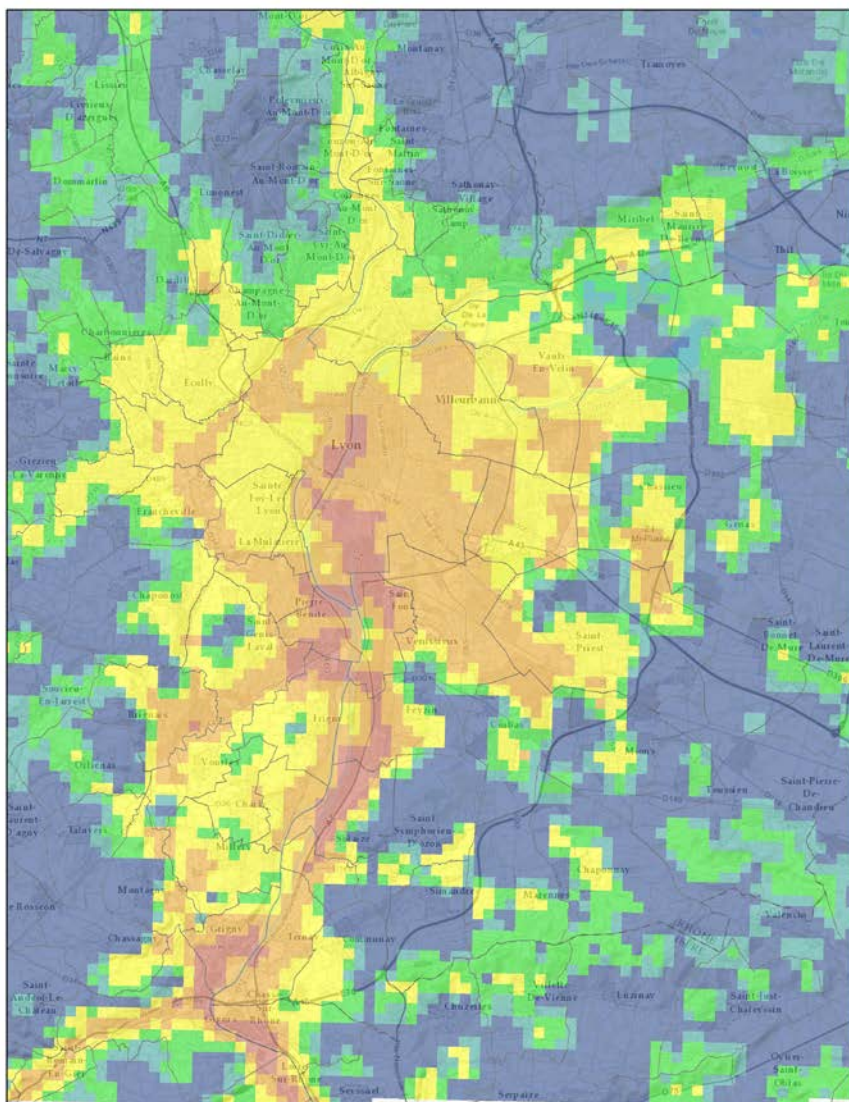
### Coût :



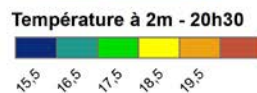


## B1 - Modélisation – Les modèles climatiques à l'échelle de l'agglomération

Température de l'air à 2m à l'aide du modèle MesoNH de Météo France  
(Julita Dudek, 2014)



Modélisation des températures le 30 avril 2011



### Échelle

Agglomération

### Généralités

Modéliser le phénomène climatique de la ville dans son contexte climatique régional, en prenant en compte l'utilisation du sol.

### Sources – méthodes d'acquisition

La modélisation de la ville nécessite de nombreuses données d'entrée qui doivent être mises en forme spécialement : description de la forme urbaine (hauteur des bâtiments), des surfaces (eau/végétal/bâti), pour chaque maille décrite par le modèle (ex pour MesoNH : maille 250m). Le centre de recherche de Météo France (CNRM) est en mesure de mettre en place ce modèle.

### Intérêt :

La modélisation permet d'avoir une connaissance de l'évolution spatiale et temporelle du phénomène d'ICU et des quartiers les plus concernés. Elle permet aussi de connaître les 'variables explicatives' de ce phénomène, et de pouvoir tester des scénarios. On peut comparer des sorties de modèle à de la mesure réelle.

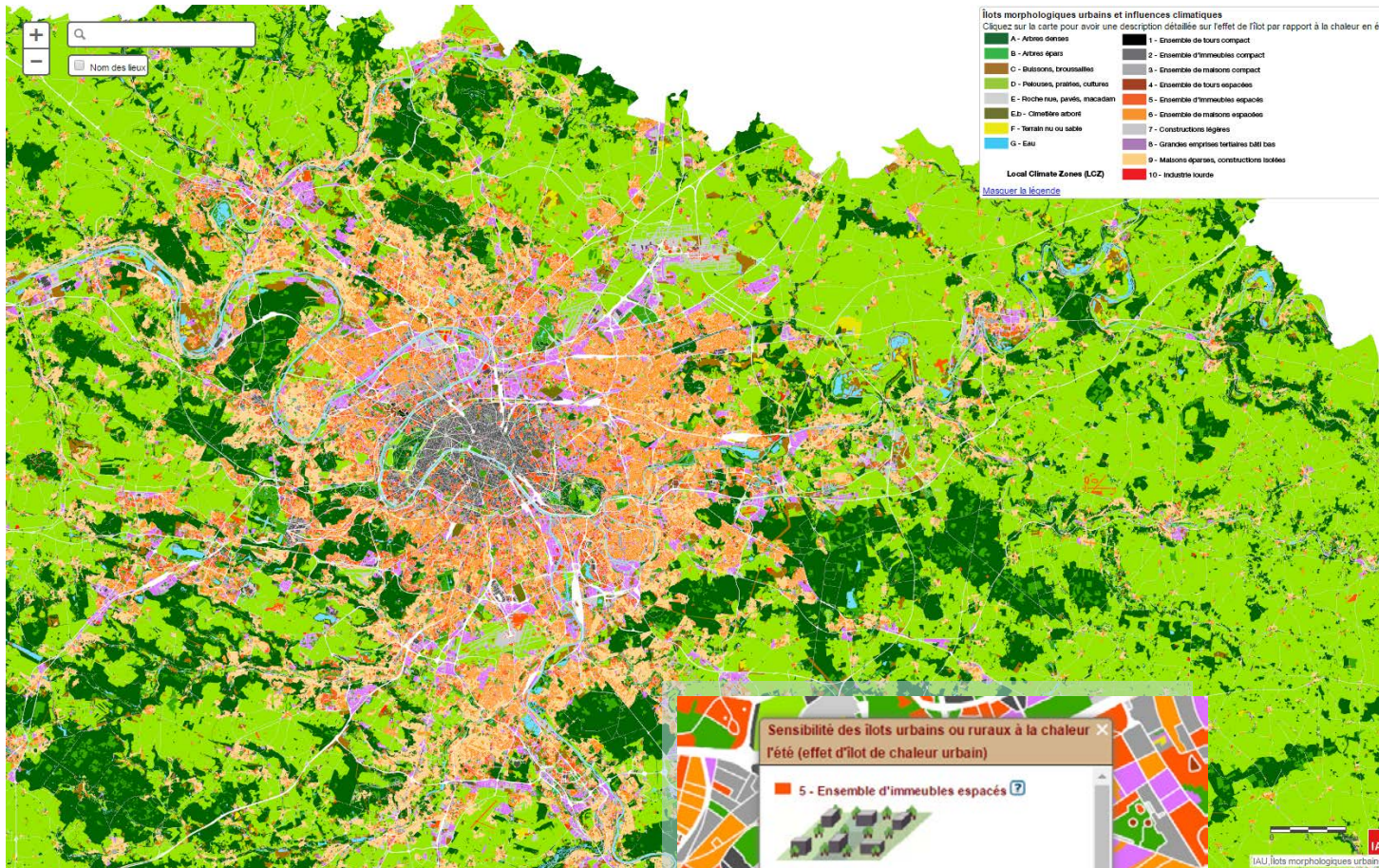
### Pour la Métropole de Lyon :

La Métropole a co-financé la thèse de Julita Dudek (Lyon 3) : à ce titre nous disposons d'une carte issue du modèle MesoNH à la maille 250m (agence d'urbanisme).

### Coût :



## B2 - Modélisation – classification « LCZ » à l'échelle de l'agglomération



Cartographie pour la région Ile-de-France des « Ilots Morphologiques Urbains », réalisée par l'IAURIF et disponible en ligne (<http://carto.iau-idf.fr/webapps/imu/>).

### Échelle

Agglomération

### Généralités

Les LCZ (Local Climate Zone), sont des entités spatiales homogènes du point de vue du comportement thermique et de l'intensité des ICU. L'IAURIF a réalisé ce travail pour l'Ile-de-France. D'autres projets sont en cours : DIACLIMAP à Nancy, MAPUCE à Toulouse.

### Sources – méthodes d'acquisition

Chaque LCZ correspond à entité spatiale générant un climat spécifique, identifiée à partir d'indicateurs morphologiques (hauteur du bâtiment, rugosité, etc.) et d'occupation du sol (taux de végétation, albédo, densité d'eau, etc.). De nombreuses sources de données sont nécessaires, dont des données satellitaires.

### Intérêt :

Plus « légère » que la modélisation physique complète du phénomène, cette approche permet d'avoir une idée globale des zones les plus soumises à l'effet d'ICU. L'utilisateur peut zoomer sur le quartier qui l'intéresse et visualiser sur une fiche les impacts positifs ou négatifs des différents indicateurs (hauteur des bâtiments, végétation, ombrage lié aux arbres, etc.).

### Pour la Métropole de Lyon :

Ce travail de classification des LCZ n'a pas été réalisé.

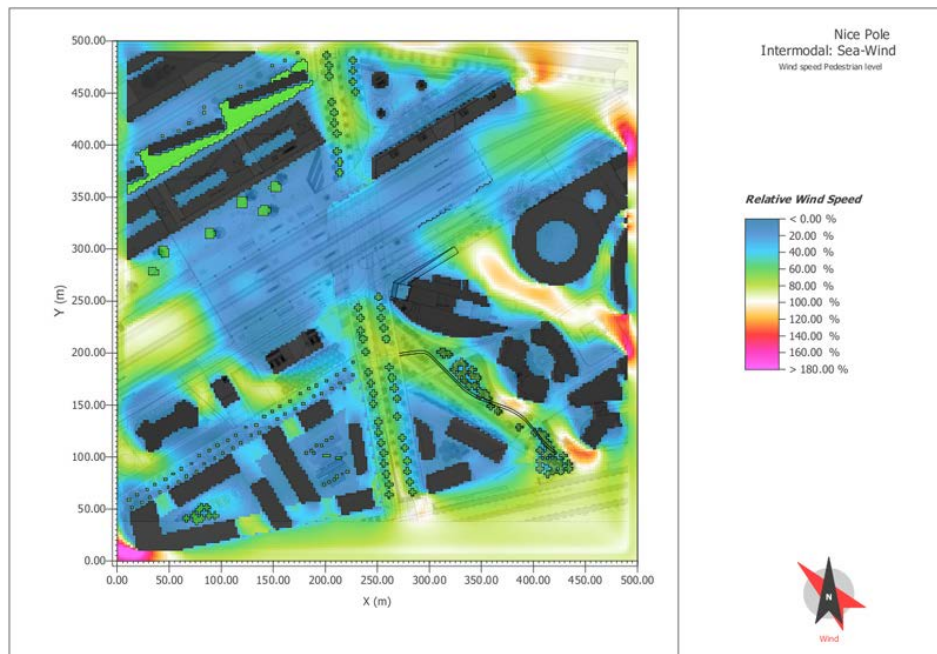
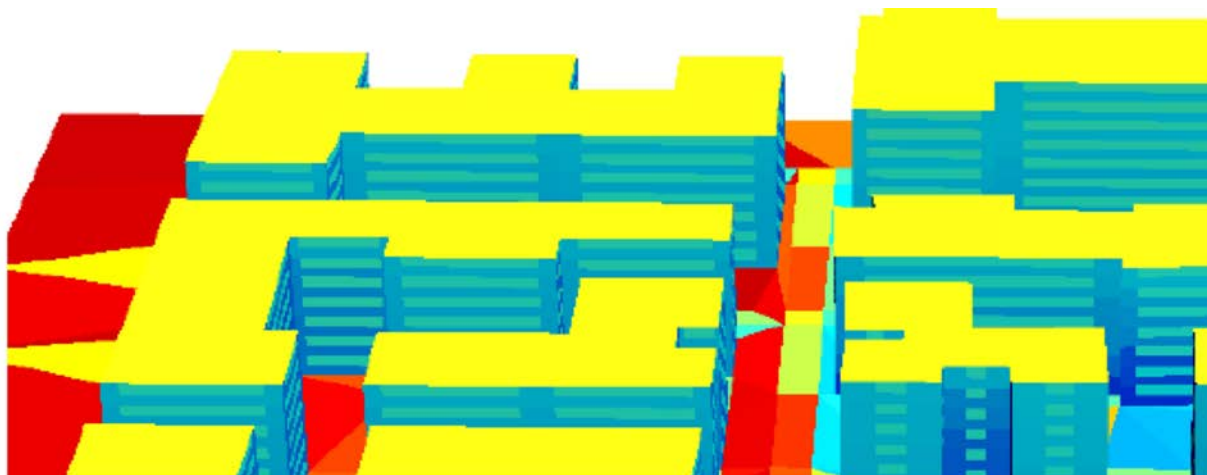
### Coût :

Les données sont normalement gratuites, mais il y a un temps de traitement des données et de construction des cartes non négligeable.



## B3 - Modélisation – Les modèles climatiques à l'échelle du quartier

↓ Étude « EVA : Eau, Végétation, Albédo » sur le quartier de la Part-Dieu (ADEME, IRSTV, Veolia, 2013-2016). Le modèle Solene-microclimat, utilisé pour l'étude, intègre les flux d'air et les consommations énergétiques des bâtiments.



← Le modèle Envi-Met a été utilisé dans le cadre du projet d'aménagement Ecocité Nice – Plaine du Var (2EI, 2014).

Il a permis de faire évoluer le projet : densification de la végétation, modification de l'emplacement d'un bâtiment, humidification de l'air et des sols.

Les nécessaires allers retours entre concepteurs du projet et ingénieurs en charge de la simulation peuvent représenter un temps important. Tout en ayant largement contribué à un projet urbain capable de garantir un bon niveau de confort thermique en période estivale, la simulation sur le projet d'aménagement Ecocité Nice – Plaine du Var a nécessité un an de travail.

### Échelle

Bâtiment - Rue – Quartier (100 m<sup>2</sup> à 1 km<sup>2</sup>)

### Généralités

Les modèles 3D permettent modéliser le phénomène micro-climatique à l'échelle d'une rue ou d'un petit quartier (maille 0.5 à 1 m). Ils s'appuient un modèle aérouatique (voir plus loin) couplé à un modèle thermoradiatif. Ils permettent de prendre en compte des détails de morphologie urbaine (balcons, ombrage sur une partie de la rue, petits végétaux, etc.).

### Sources – méthodes d'acquisition

Les modèles (Envi-met ou Solene microclimat) nécessitent de nombreuses données d'entrée : données météorologiques, profil d'humidité et de température des sols, structures et propriétés des sols, caractéristiques des végétaux et des bâtiments (matériaux). Plusieurs laboratoires et bureaux d'études sont en mesure de mener ces modélisations.

### Intérêt :

La modélisation complète d'un espace permet de pouvoir tester des scénarios et de voir leur impact sur le confort thermique dans les espaces publics ou les bâtiments. On peut comparer les sorties du modèle à de la mesure réelle pour pouvoir analyser de manière plus fine et critique les résultats.

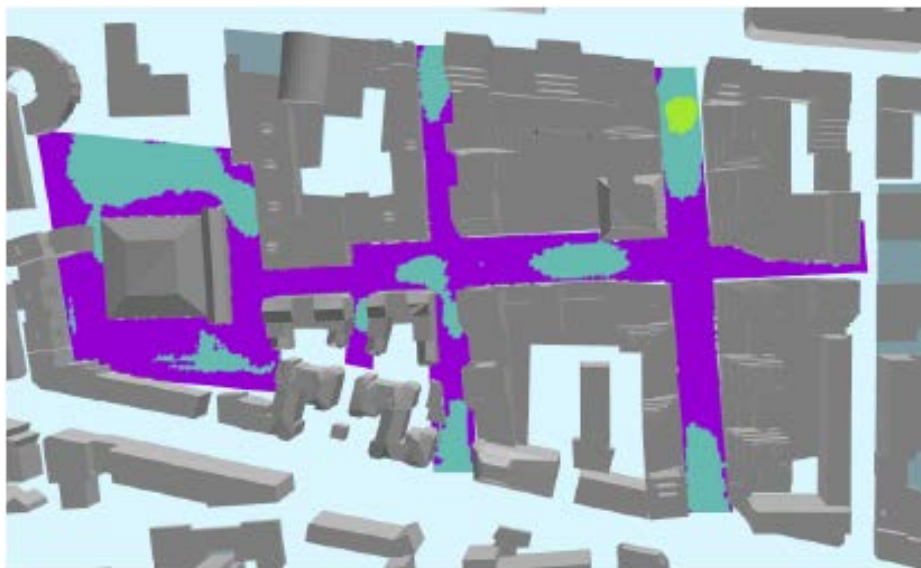
### Pour la Métropole de Lyon :

Le Grand Lyon a été le territoire d'expérimentation du projet de recherche EVA qui a utilisé le modèle Solène Microclimat sur 3 places autour du quartier de la Part-dieu.

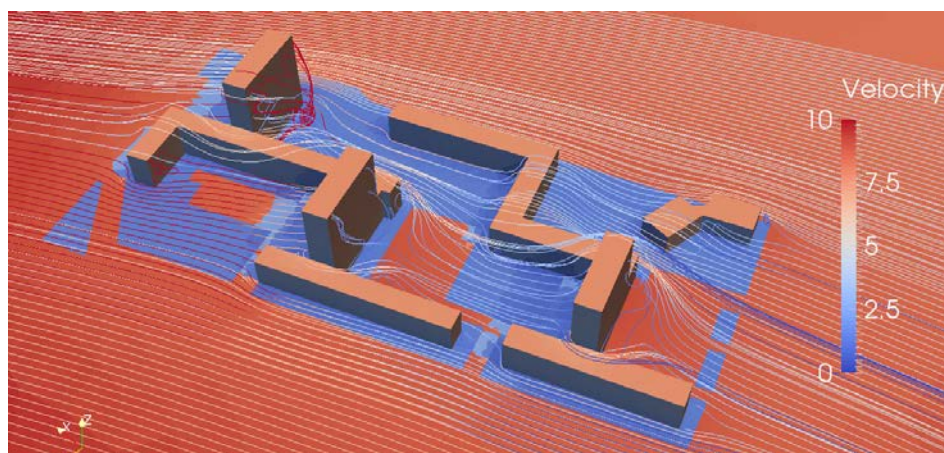
### Coût :



## B4 - Modélisation – Modèles aérauliques



Étude aéraulique sur la ZAC Gratte-Ciel Nord (Bureau d'Études Vizea, 2016)



Modélisation aéraulique du quartier Rillieux-Semailles (Projet de recherche EPOC, Lucie Merlier, CETHIL, 2016)

**Échelle**  
Quartier

### Généralités

Un modèle aéraulique est utilisé pour voir comment le quartier réagit aux vents dominants. Il est utile pour éviter de créer des formes urbaines engendrant des accélérations du vent dans certaines configurations, ce qui provoque de l'inconfort thermique en hiver et/ou une amélioration du confort d'été.

### Sources – méthodes d'acquisition

De nombreux bureaux d'études proposent cette prestation. Il est nécessaire de connaître la forme du quartier (emplacements, hauteurs, orientations des bâtiments) accessible via une maquette 3D.

### Intérêt :

Ils peuvent permettre de repérer les zones qui ne seront pas ventilées l'été : si celles-ci sont de plus sujettes à stocker la chaleur (orientation sud, matériaux minéraux, peu de végétation), elles seront des zones d'inconfort estival.

### Pour la Métropole de Lyon :

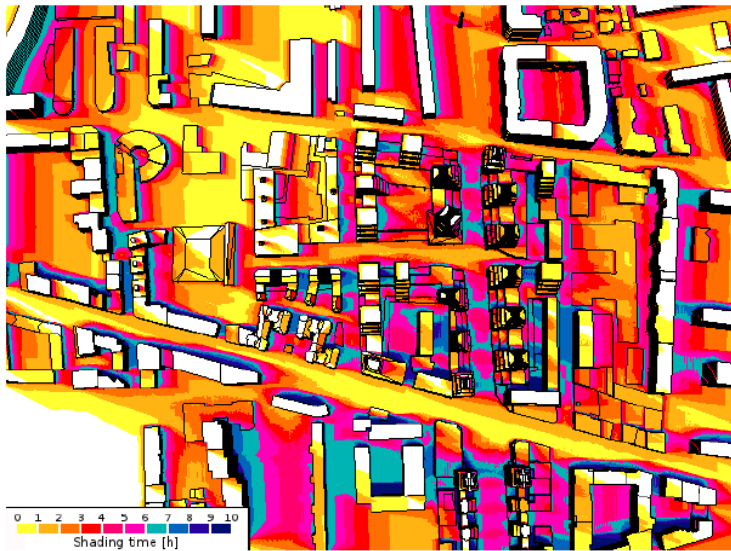
Des études de ce type ont été effectuées sur plusieurs quartiers : Part-Dieu, Gratte-ciel nord. Les données 3D du Grand Lyon sont en libre accès et peuvent être fournies aux bureaux d'étude pour faciliter leur modélisation.

### Coût :

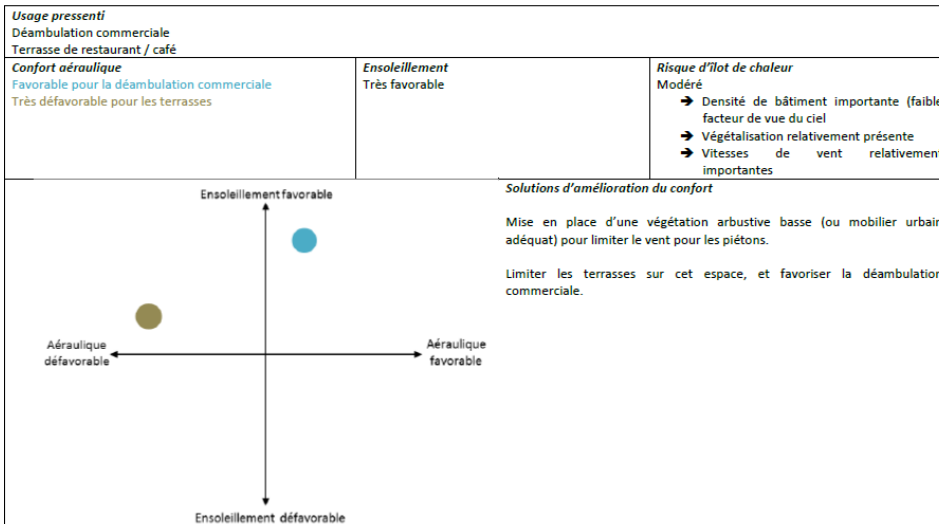
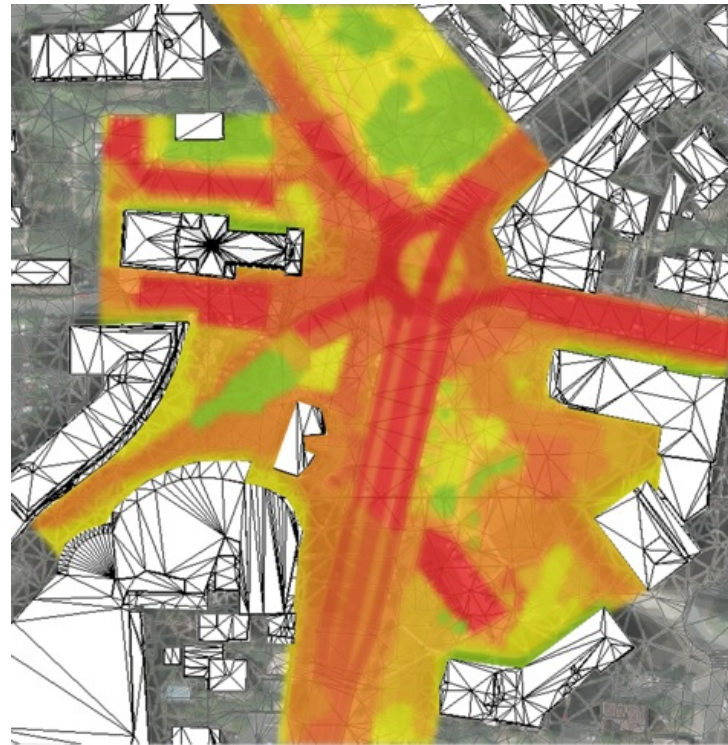


## B5 – Simulation solaire / ensoleillement / Héliodon

Ensoleillement au 21 juin



↑ Étude d'ensoleillement, ZAC Gratte-Ciel Nord, BET Vizea 2016



↑ « Carte qualitative des ICU » du BE ECIC sur la place Talence à Bordeaux. L'approche croise les ombres portées (bâtiments et arbres) et le type de matériau de voirie pour définir les zones chaudes et les zones fraîches.

← Analyse croisée confort aéralique/ensoleillement, ZAC Gratte-Ciel Nord, BET Vizea 2016

### Échelle

Rue - Quartier

### Généralités

L'étude des masques solaires permet, pour des journées données, de connaître la position des ombres en croisant la course du soleil et les hauteurs de bâtiments.

### Sources – méthodes d'acquisition

De nombreux bureaux d'études proposent cette prestation. Il est nécessaire de connaître la forme du quartier (emplacements, hauteurs, orientations des bâtiments) accessible via une maquette 3D.

### Intérêt :

En faisant tourner une étude de masques un jour d'été (ex : 21 juin), on met en évidence les zones qui vont recevoir le plus de soleil, et donc susceptibles de chauffer. Ces zones seront à traiter avec attention pour éviter l'inconfort thermique : ombrage (arbres ou préaux), matériaux à fort albédo, présence d'eau... On peut aussi faire varier le schéma de composition du quartier et voir l'impact.

### Pour la Métropole de Lyon :

Les données 3D du Grand Lyon sont en libre accès et peuvent être fournies aux bureaux d'étude pour faciliter leur modélisation.

### Coût :



## C - Indicateurs simplifiés

Le bureau d'études TRIBU propose une approche par indicateur lié à l'occupation du sol et à l'albédo des matériaux (ci-dessous sur le quartier de la Duchère).

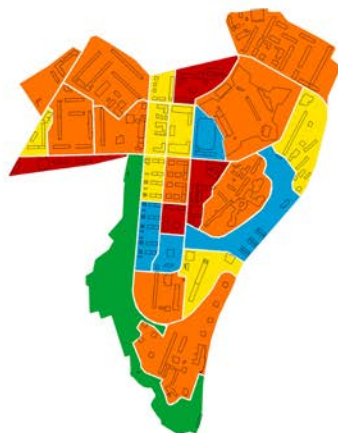
2003



2010



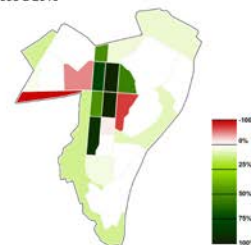
2016



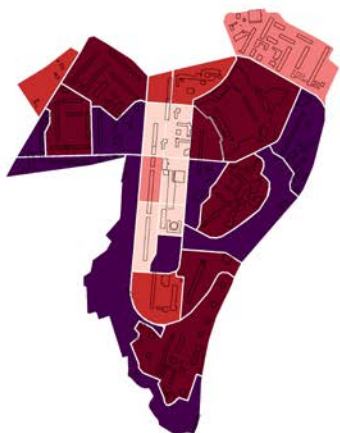
Albédo moyen des surfaces  
En 2003, 2010 et 2016



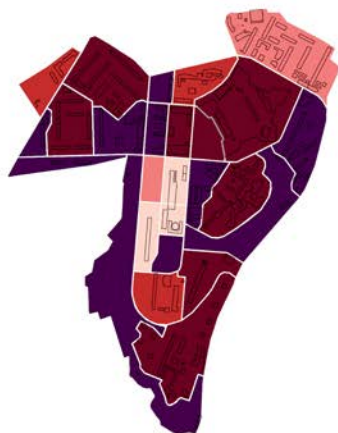
Evolution  
De 2003 à 2016



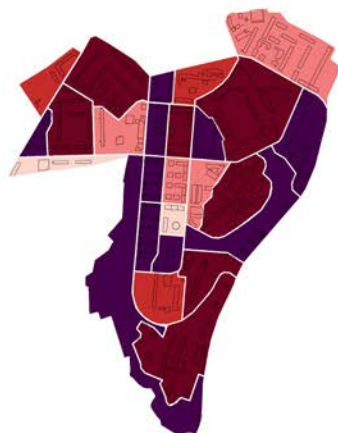
2003



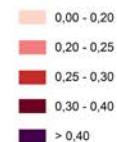
2010



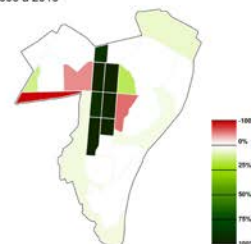
2016



Coefficient de régulation thermique moyen  
En 2003, 2010 et 2016



Evolution  
De 2003 à 2016



**Échelle**  
Quartier

### Généralités

À mi-chemin entre l'approche cartographique simple et la modélisation, des indicateurs simplifiés peuvent être créés pour un projet afin de voir son impact sur le confort thermique des habitants. Les sorties ne sont pas des valeurs physiques (Température) mais des « indices » sans dimension qui ont pour but de comparer les options.

### Sources – méthodes d'acquisition

Plusieurs bureaux d'études ont construit un indicateur d'ICU / indicateur de confort thermique en fonction de paramètres spatiaux d'un projet urbain (albédo des matériaux, végétation, etc).

### Intérêt :

Une fois la méthode choisie, l'indicateur est facile à calculer et peut, de manière réactive, être re-calculé au cours du projet pour aider au choix d'un scénario.

### Pour la Métropole de Lyon :

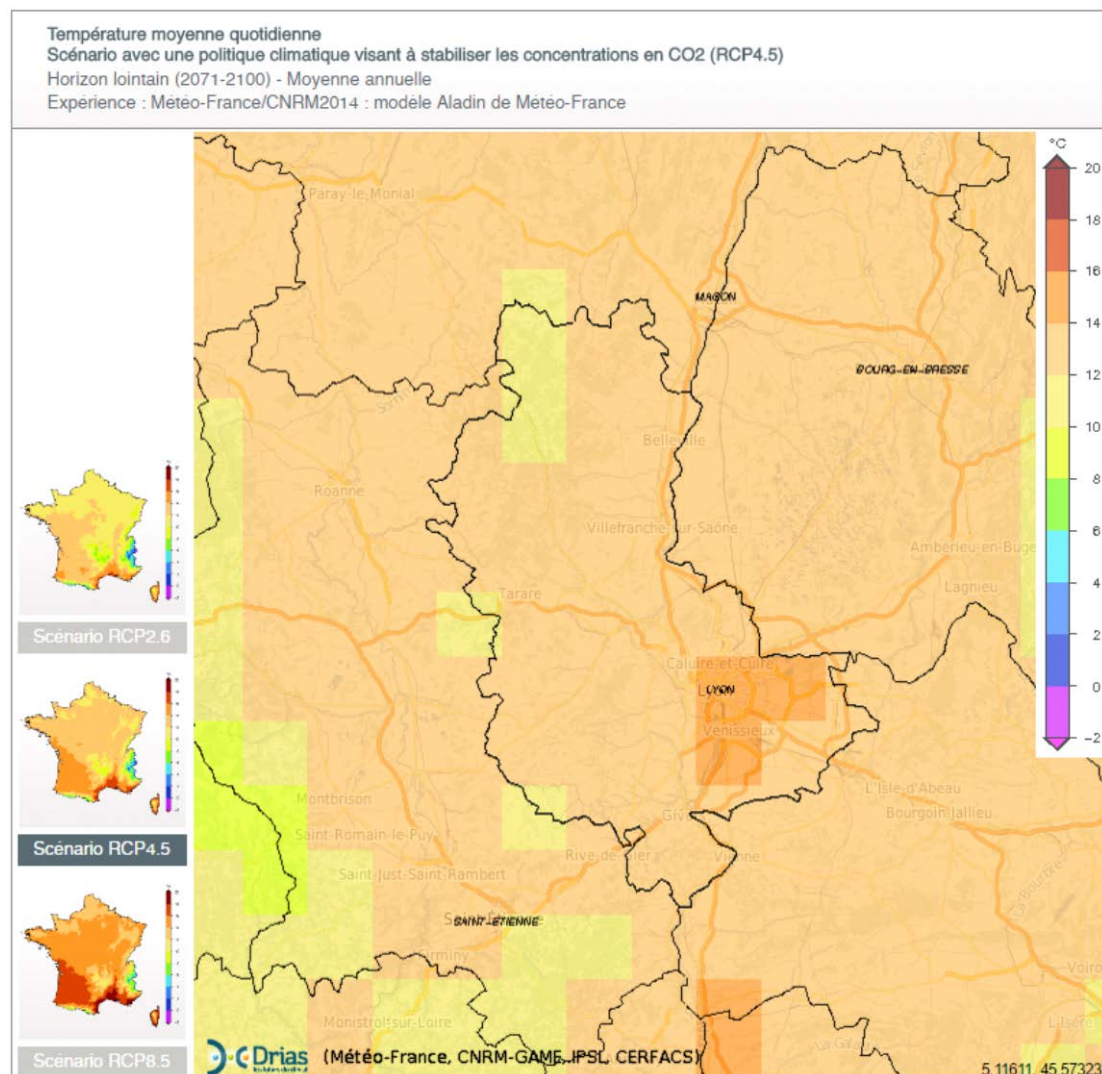
L'indicateur ICU de TRIBU a notamment été utilisé sur la Duchère et Carré de Soie, la Métropole s'est aussi dotée de l'outil Score ICU du bureau d'études ECIC qui propose une autre forme de calcul.

**Coût :**



## Les autres modèles ?

DRIAS : les futurs du climat (Météo France). Pour connaître les paramètres du climat dans 30, 50 ans.



### Échelle

Régionale (maille 3 km)

### Généralités

DRIAS (Donner accès aux scénarios climatiques Régionalisés français pour l'Impact et l'Adaptation de nos Sociétés et environnement) est un portail accessible gratuitement sur internet (<http://www.drias-climat.fr/>). Son objectif est de mettre à disposition des données de projections climatiques, obtenus sur la base de scénarios d'émissions de GES et de modèles physiques globaux, pour différents horizons temporels futurs. Le portail propose également un accompagnement, à travers des recommandations quant à l'interprétation des résultats, un glossaire et une Foire Aux Questions.

### Sources – méthodes d'acquisition

Les données des projections climatiques sont téléchargeables gratuitement depuis le portail, moyennant la création d'un compte avec un identifiant. Elles concernent des moyennes (en températures, en précipitations, en humidité relative, etc.), ainsi que des extrêmes (fortes chaleurs, nombre de jours anormalement chauds, etc.).

### Intérêt :

Les données des projections peuvent servir à construire une carte, pouvant venir nourrir le diagnostic dans des documents de planification. À noter que c'est la combinaison de modèles, pour un scénario donné, qui permet d'entrevoir le degré d'incertitudes des résultats.

### Pour la Métropole de Lyon :

Les extractions ont été faites et utilisées dans le « diagnostic Adaptation – socle des connaissances » 2015.

### Coût :

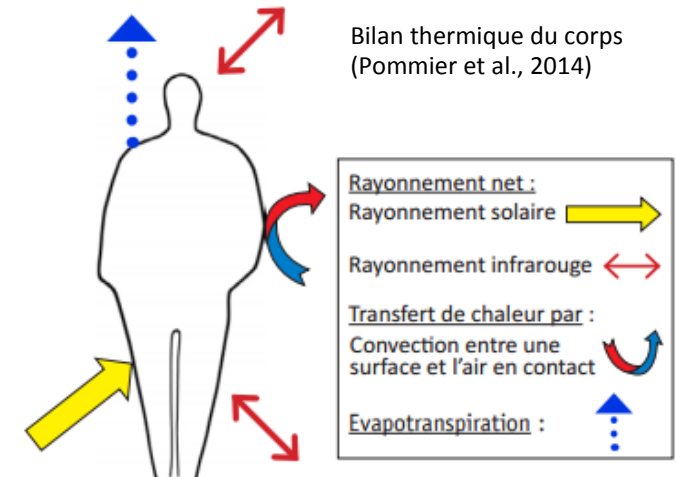
Le coût porte sur le traitement des données/cartographies



## ANNEXE : Les paramètres du confort thermique estival

### Paramètres du confort thermique

- la **température de l'air**, qui impacte directement sur les échanges convectifs cutanées et respiratoires ;
- la **vitesse de l'air**, qui intervient sur les échanges cutanés par convection et augmente l'évaporation à la surface de la peau ;
- le **métabolisme**, se traduisant par la production d'une chaleur interne au corps permettant de maintenir celui-ci autour d'une température de 36,7 °C. La chaleur interne du corps ne sera pas la même selon que le corps est au repos ou en activité ;
- l'**habillement**, susceptible de jouer un rôle d'isolation par rapport à la chaleur extérieure et d'évacuation de la sueur ;
- l'**humidité relative de l'air**, qui influe sur notre capacité de notre corps à éliminer une chaleur excédentaire. Ainsi, une température extérieure de 24 °C et une humidité relative supérieure à 70 % (pluie après une forte chaleur) se traduit par une sensation de moiteur, due à l'impossibilité d'évacuer la transpiration. Une température extérieure de 24°C et une humidité relative inférieure à 30 % permet d'évacuer la transpiration et de refroidir ainsi la peau;
- la **température des parois**, dans le cas du confort thermique à l'intérieur d'un logement. L'hiver, on connaît bien l'effet de « paroi froide » qui dégrade le confort. En extérieur, la « température de globe noir » est une résultante agrégée des différentes températures de parois.

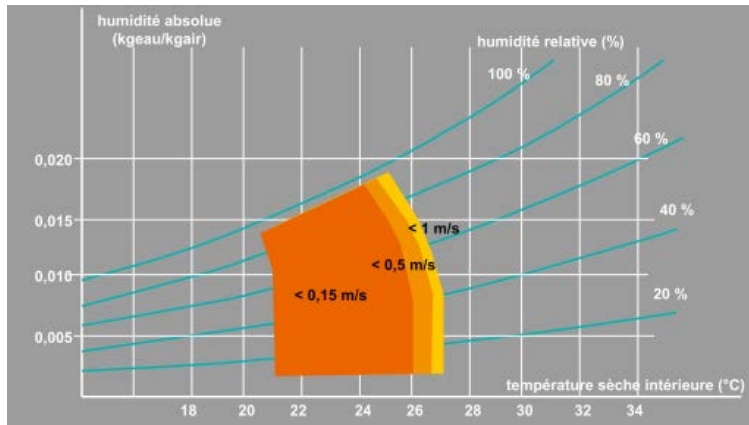


### Indicateurs de confort thermique – en intérieur

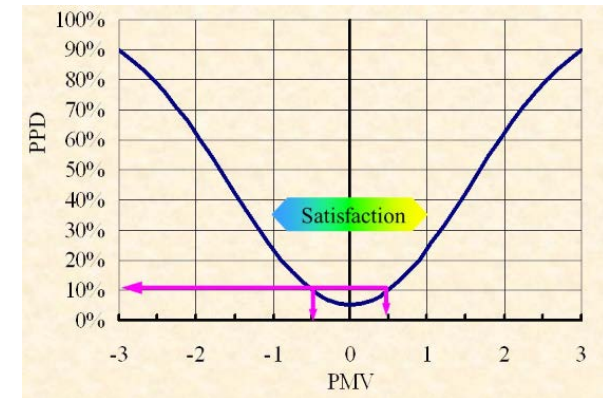
- la **température seuil de la RT 2012** : en construction neuve, le critère considéré est la température intérieure conventionnelle (Tic). La Tic correspond à la valeur maximale horaire de la température opérative, **moyenne de la température de l'air et de la température des parois**. Elle ne doit pas être inférieure à un seuil, le Ticmax, température intérieure conventionnelle maximale, définie pour chacune des huit zones climatiques ;
- le **nombre d'heures d'inconfort (selon la norme NF EN 15 251)**, correspondant à la durée de dépassement de seuil limite de température opérative. La norme utilise l'indice PMV, qu'elle traduit en température opérative. Pour les bâtiments non climatisés, elle considère que plus il fait chaud dehors, plus le corps humain accepte une température intérieure élevée, ce qui se traduit par une température opérative à ne pas dépasser fonction de la température extérieure en moyenne glissante journalière ;



- le **diagramme de Givoni** : il définit sur le diagramme de l'air humide, des zones de confort, pour différentes plages de vitesse de l'air, dans le cas d'un habillement adapté à l'été et d'une activité sédentaire ;



- le **PPD-PMV** (Predicted Pourcentage Dissatisfied - Predicted Mean Vote) : le PPD prédit le pourcentage de personnes insatisfaites, en fonction du PMV, valeur moyenne des votes sur l'échelle de la perception thermique ;

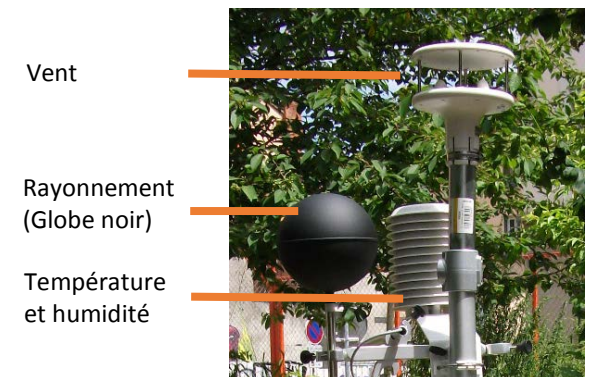


## Indicateurs de confort thermique – en extérieur

- la **Température Physiologique Équivalente (PET)** : indice de confort thermique intégrant la température de la peau et du corps, le taux de transpiration, et la vêtue. Le tableau ci-dessous donne la correspondance entre le PET et la perception thermique d'un individu « moyen ».
- le **Universal Thermal Climate Index (UTCI)** : indice de confort thermique intégrant les 6 paramètres du confort thermique. Il est adapté à la mesure en extérieur (vent, humidité, température de l'air, température de globe noir).
- le **Wet Bulb Globe Temperature (WBGT)** : indice de confort thermique intégrant l'humidité, la température de l'air, la température de globe noir. Cet indice est utilisé par l'armée des USA pour déterminer si les conditions extérieures permettent d'effectuer certains exercices physiques.

Perception thermique ressentis par un individu	Valeurs PET en C°
très chaud	>41
chaud	35-41
chaud modéré	29-35
légèrement chaud	23-29
confortable	18-23
légèrement frais	13-18
froid modéré	8-13
froid	4-8
très froid	< 4

Échelle UTCI (°)	Niveau de stress
au-dessus de +46	Stress thermique extrême
+38 à +46	Stress thermique très élevé
+32 à +38	Stress thermique élevé
+26 à +32	Stress thermique modéré
+9 à +26	Pas de stress thermique



Station de mesure permettant de mesurer les différents paramètres nécessaires au calcul de ces indices (Métropole de Lyon, 2016) ↑