



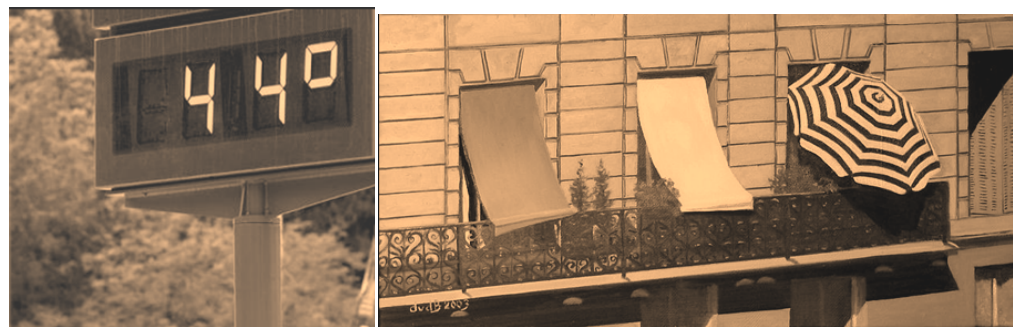
Agence d'urbanisme
pour le développement
de l'agglomération lyonnaise

Programme de travail mutualisé 3 Agences d'Urbanisme de Rhône-Alpes

Octobre 2010

Document de travail Version provisoire

Identification des îlots de chaleur de l'agglomération lyonnaise, vulnérabilité des populations et mesures envisageables de résorption.



GRAND LYON
communauté urbaine

ADEME



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Énergie

*C'était une nuit sans vent,
une de ces nuits d'été où l'air de Paris surchauffé entre dans la poitrine comme une vapeur de four.*

Bel-Ami, 1885 *Guy de Maupassant*

Sommaire

Objet de l'étude, cadre, les besoins identifiés, orientations	7
1. Définition de l'îlot de chaleur urbain (ICU)	9
1.1 Formation de l'îlot de chaleur	14
1.2 Identification et moyens de mesure	16
1.3 Les effets négatifs de l'ICU sur le confort thermique urbain	20
	22
2. Identification des potentialités d'ICU sur l'agglomération lyonnaise	
2.1 le transept des températures de surface de l'agglomération lyonnaise	22
2.2 Cartographie : identification des potentialités d'ICU par l'analyse de la bande thermique Landsat	25
2.3 Localisation des ICU de l'agglomération lyonnaise (carte d'iso-rayonnement, potentialités d'ICU par parcelle cadastrale)	27
2.4 Distribution des températures en fonction de l'occupation des sols	31
3. Evaluation de l'exposition et de la vulnérabilité des populations de l'agglomération lyonnaise	32
3.1 une région continentale exposée aux fortes chaleurs estivales	32
3.2 une corrélation établie entre fortes températures (qualité de l'air) et surmortalité	33
3.3 Répartition de la population lyonnaise par iso-températures	37
3.4 La moitié de la population de l'agglomération exposée ?	38
3.5 la corrélation entre types d'occupation des sols/forme urbaine et probabilité d'ICU	39
4. Les mesures de résorption	41
4.1 La nature des matériaux de construction et la forme urbaine dans la probabilité de formation d'un ICU	41
4.2 Les éléments régulateurs de l'ICU	47
- A l'échelle des agglomérations	47
- A l'échelle du quartier, de la rue et de l'espace public	53
- A l'échelle du bâtiment	71
4.3 Analyse par secteurs test	81
5. Actions en faveur de l'adaptation	81
5.1 échelle d'agglomération	89
5.2 échelle communale	90
5.3 à l'opération d'urbanisme	92
5.4 A l'échelle du bâtiment	92
5.5 proposition d'éléments à intégrer dans les PLU	93
Annexes	95

Objet de l'étude : identification des îlots de chaleur de l'agglomération lyonnaise, vulnérabilité des populations et mesures envisageables de résorption.

Cadre : programmes de travail des 3 agences d'urbanisme de Rhône-Alpes liés à l'animation des Plans Climat Territoriaux des 3 agglomérations de Lyon, Grenoble et St Etienne (mutualisation de moyens d'expertise des îlots de chaleur urbain entre les 3 Agences, programme de travail ADEME 2010).

Contexte : les 3 agglomérations partagent des besoins de même nature concernant l'avancée sur les questions d'adaptation au changement climatique et de cartographie des îlots de chaleur. Lyon, Grenoble et St Etienne pourraient mutualiser des moyens par l'intermédiaire de leurs agences d'urbanisme réunies en réseau (Urba 3).

Les besoins identifiés :

- A l'échelle de l'agglomération : la cartographie des quartiers les plus exposés (« paysage thermique »). Les Agences souhaitent partager des outils et des méthodes de mesure communes des îlots de chaleur.
- A l'échelle du projet urbain : des méthodes plus précises et un partage sur les solutions à retenir sur l'existant ou en neuf, sur le bâtiment, les espaces publics. Double intérêt : alimenter les PCT ; préparer les PLU ; identifier les expériences pilotes.

Orientations suivantes pour 2010 :

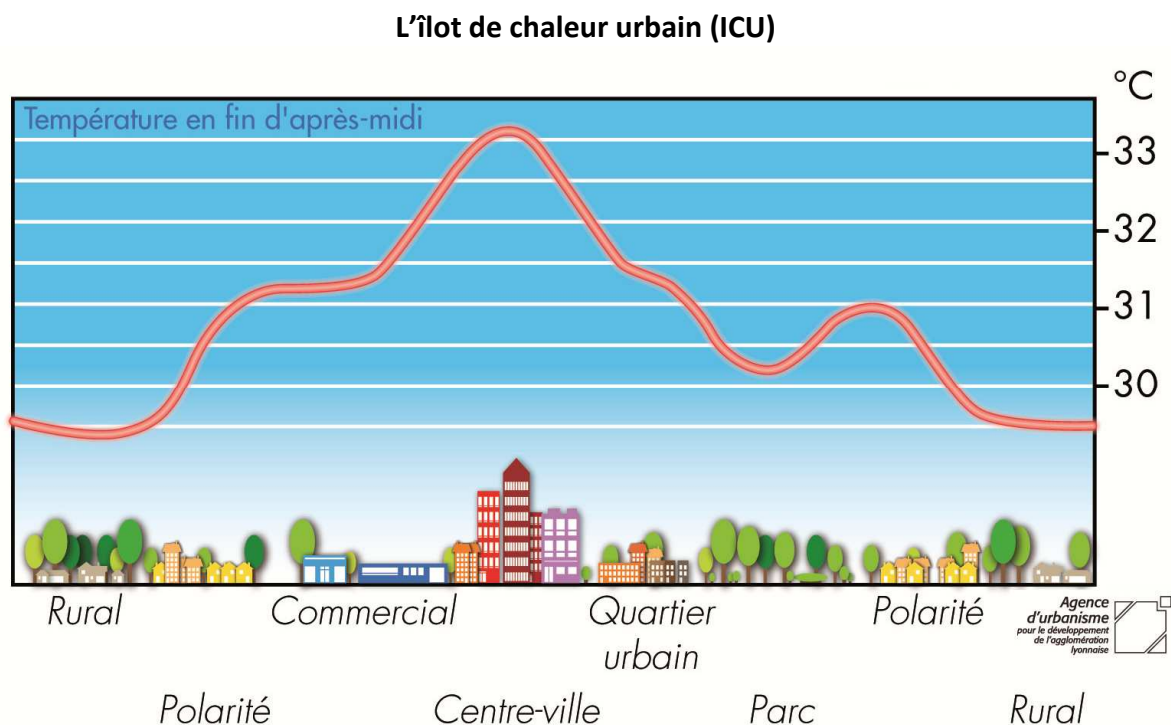
- la valorisation des travaux existants (*modélisation des probabilités d'îlots de chaleur urbain* sur Gratte Ciel, Meyzieu et Vieux Lyon, développé par Clément Champiat pour la Mission écologie urbaine de l'agglomération lyonnaise ; *cartographie des îlots de chaleur Landsat* sur Lyon, dans une approche sur les îlots de chaleur/puits de fraîcheur et sur les recommandations de traitement des espaces publics et réhabilitation.
- recherche d'une expertise scientifique des méthodes employées (auprès de M. Jacques Comby, Lyon III) ; encadrement d'une thèse. Le traitement des données existantes ou à collecter ou à mesurer métrologie/modélisation dans le cadre de l'accompagnement d'un contrat de recherche.
- la collecte de toutes données sur la climatologie urbaine auprès des organismes producteurs (Météo France ? ASCOPARG/COPARLY sur leurs stations de mesures fixes de la qualité de l'air ? Universités ?).
- un travail inter-Agence sur les préconisations à réaliser à partir de quartiers tests

1. Définition de l'ICU

1.1 Définition de l'îlot de chaleur

L'îlot de chaleur urbain est caractérisé par l'observation de fortes différences entre les températures mesurées en site urbain et les températures des campagnes environnantes.

Ce phénomène a été observé dès 1820 par Luke Howard sur la ville de Londres.

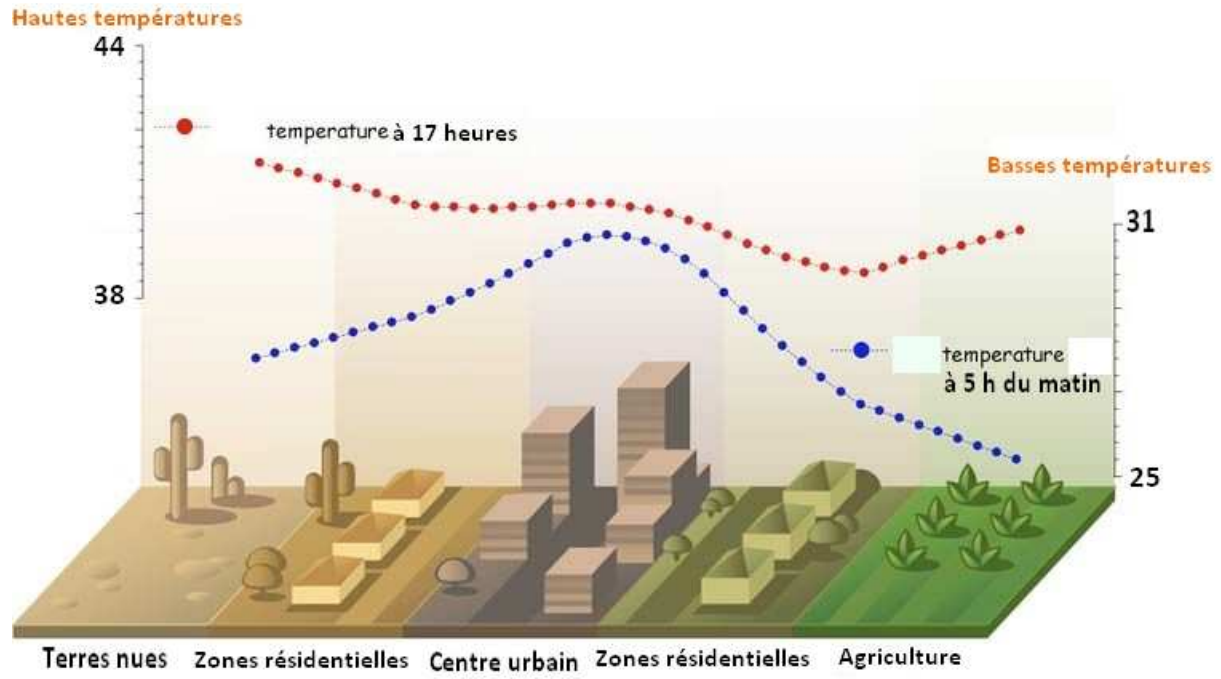


Extrait du Scot de l'agglomération lyonnaise

L'effet d'îlot de chaleur urbain suit la morphologie urbaine - des écarts de température notables sont observés aux frontières marquées entre milieu rural et urbain.

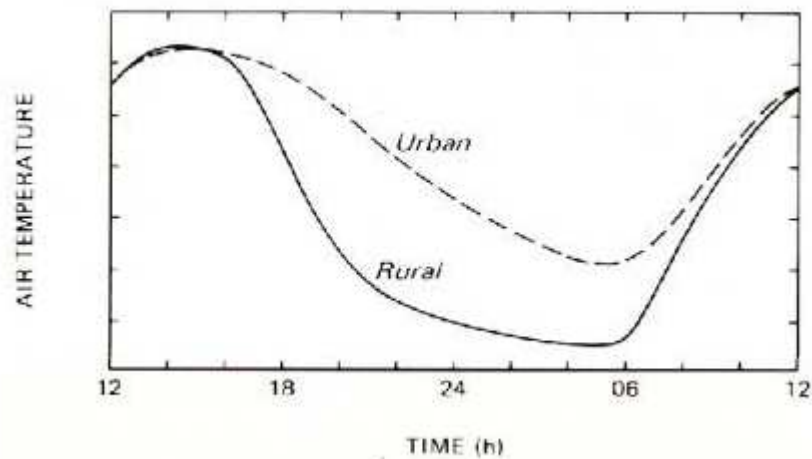
L'inertie thermique de la ville est plus importante. Les sources de chaleur (chauffage, climatisation) sont plus importantes, hiver, comme été. La nuit, la température redescend moins vite qu'à la campagne.

Températures estivales en fonction des types d'occupation des sols



L'inertie du milieu urbain est notamment due aux matériaux et revêtements des surfaces urbaines. La végétation en campagne et la structure urbaine se comportent très différemment en termes d'énergie et d'échanges d'eau avec l'atmosphère.

Ainsi, l'îlot de chaleur urbaine n'est pas créé parce que l'air urbain se réchauffe plus rapidement, mais parce qu'il se refroidit plus lentement.



L'ICU est caractérisé par un rafraîchissement nocturne en milieu urbain atténué, et par l'augmentation de température en début de journée plus rapide en milieu rural. On peut même observer temporairement une température plus faible en ville.

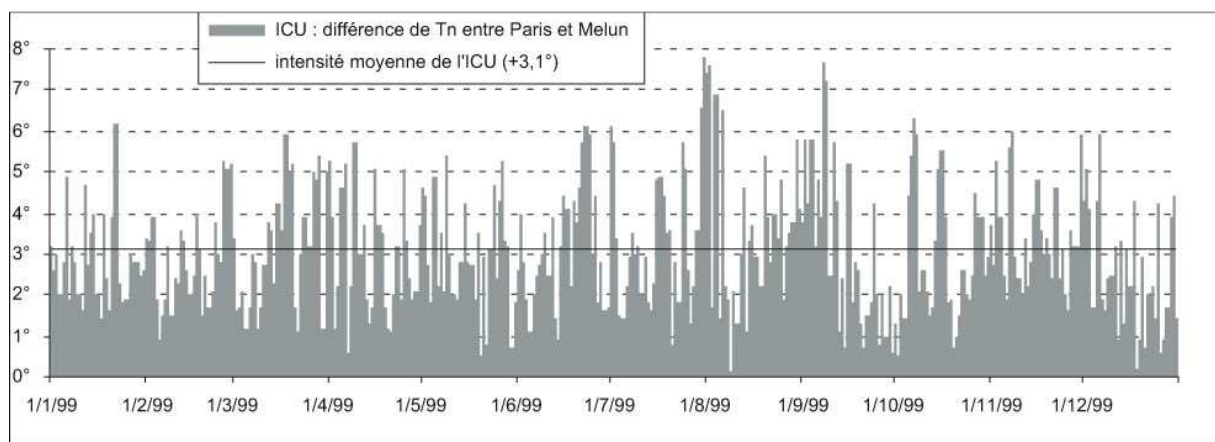
Dans la campagne, l'essentiel de l'énergie solaire est utilisée par les plantes pour extraire l'eau du sol par leurs racines et s'évaporer dans l'atmosphère. La plupart de l'énergie restante est utilisée pour chauffer l'air (l'air est plus chaud le jour que la nuit !), mais la végétation et le sol eux-mêmes se réchauffent peu.

Dans les villes, les surfaces imperméables et les bâtiments vont également chauffer l'air, mais vont surtout se réchauffer et stocker beaucoup d'énergie. Cet effet de stockage d'énergie sera fortement influencé par la géométrie 3D de la ville.

Quand vient la nuit, l'air dans la campagne se refroidira rapidement, tandis que les surfaces urbaines plus chaudes limiteront ce refroidissement.

L'ICU est un phénomène existant toute l'année.

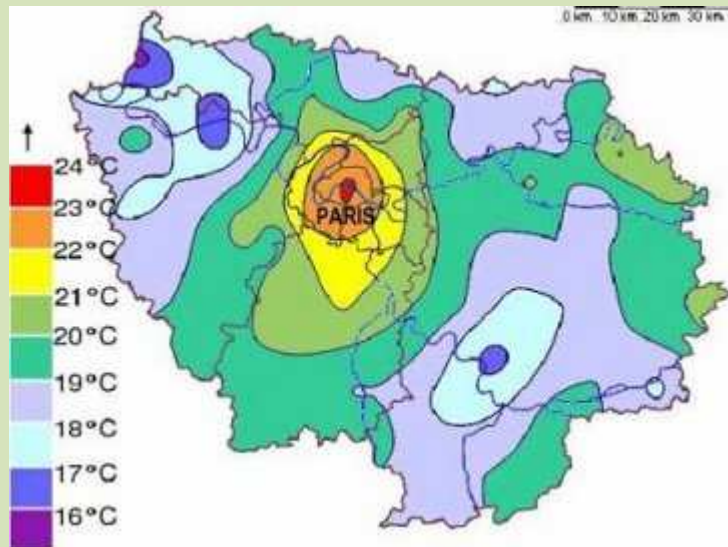
Différences de températures entre Paris et Melun sur une année (1999).



Weather types and Urban Heat Island in Paris- Olivier Cantat



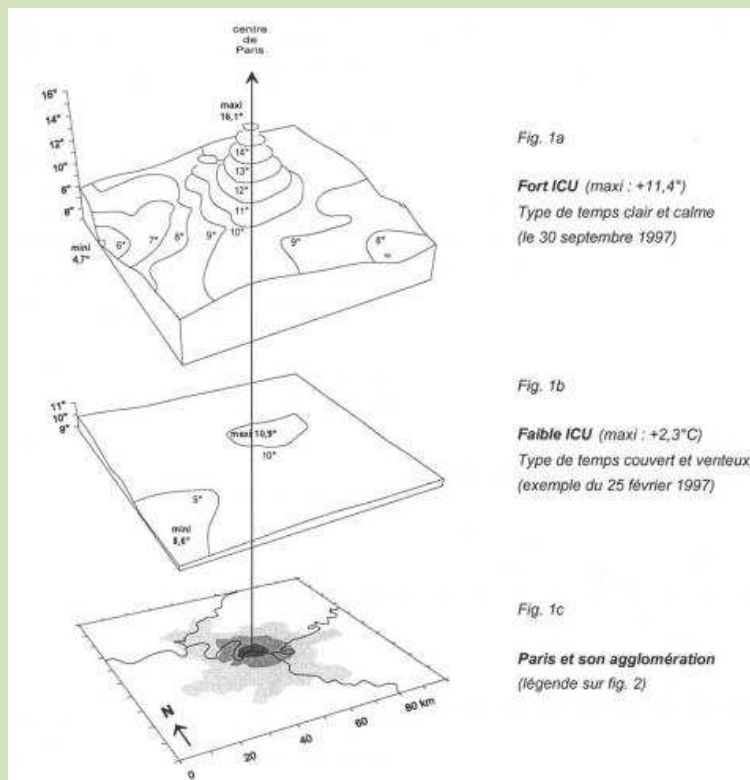
Le phénomène d'îlot de chaleur sur l'agglomération parisienne

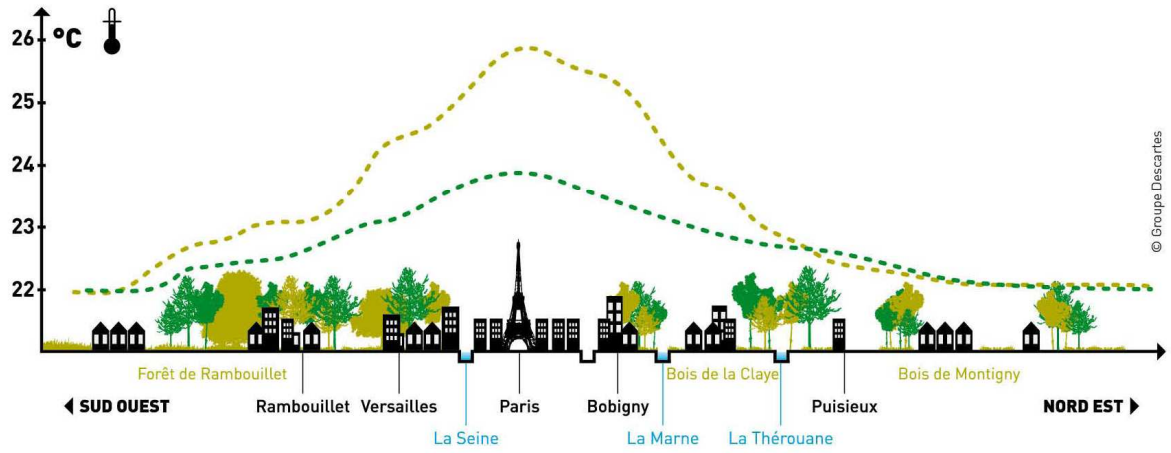


*Canicule 2003 : Ilot de chaleur nocturne à Paris - moyenne de 15 nuits consécutives -
Source : Météo France*

A Paris, l'influence de l'urbanisation sur les températures est suffisante pour apparaître dans les statistiques et sur les cartes des atlas climatologiques mais ces données « moyennes » masquent souvent des configurations thermiques encore plus tranchées, étroitement dépendantes des types de temps. À l'échelle journalière, l'écart des températures minimales entre le centre de Paris et le milieu le plus froid de la campagne peut dépasser quelquefois 10°C (fig. 1).

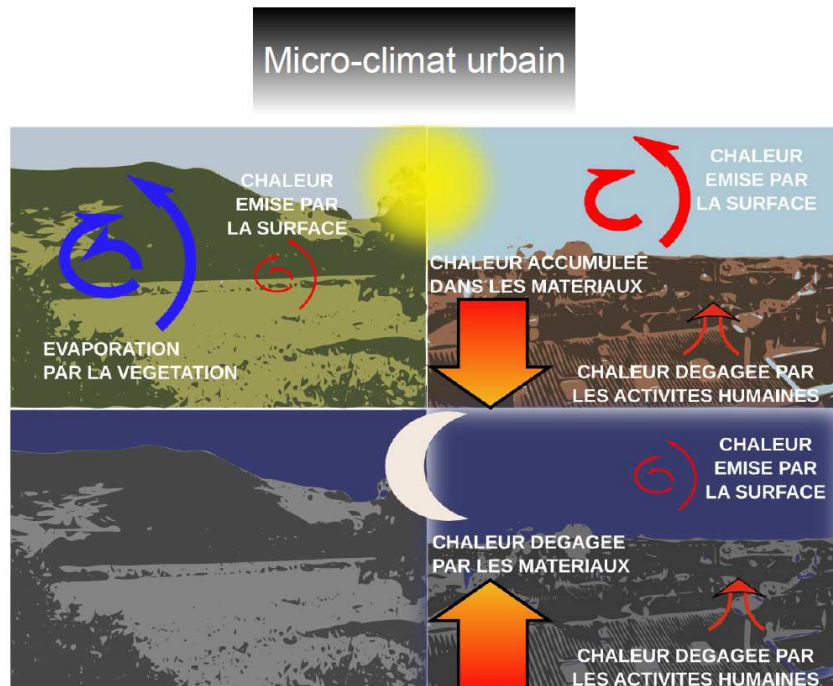
L'influence des types de temps sur l'îlot de chaleur urbain parisien





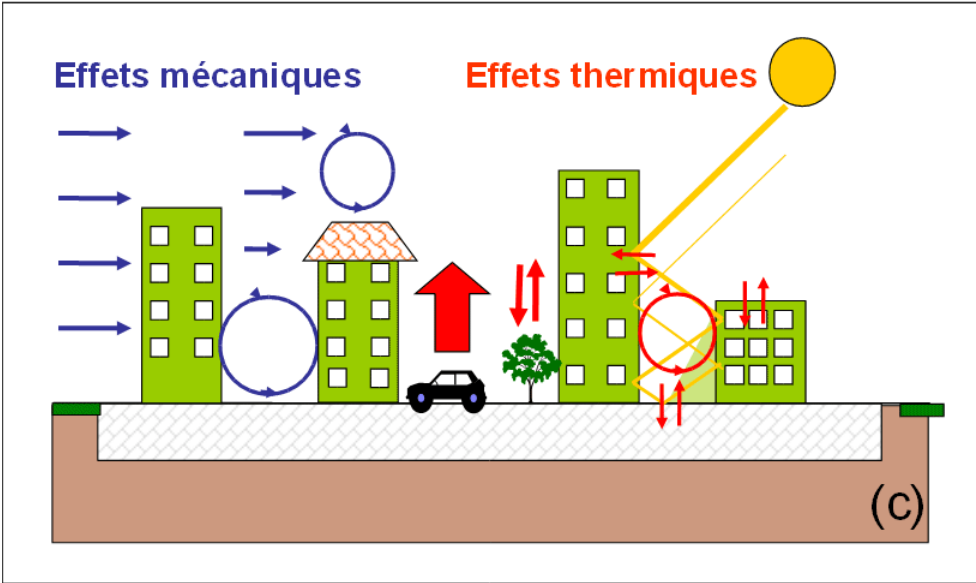
Le transect de l'agglomération parisienne a été réalisé par Météo France pour le Groupe Descartes dans le cadre des réflexions du Grand Paris.

Formation de l'îlot de chaleur



L'apparition d'un îlot de chaleur urbain (ICU), sorte de dôme d'air plus chaud couvrant la ville, est la manifestation climatique la plus concrète de la présence et des activités de la ville. L'ICU est la résultante d'un ensemble de facteurs, parfois antagonistes, agissant à différentes échelles. Ses caractères reflètent la multitude des combinaisons possibles entre les conditions climatiques régionales, le contexte saisonnier, les caractéristiques propres à chaque ville (cadre physique, forme et densité du bâti, nature des matériaux de construction, activités industrielles...) et la diversité des types de temps. De ce fait, chaque agglomération possède sa propre identité thermique, elle-même très variable dans l'espace comme dans le temps.

L'étude des interactions bâtiments-atmosphère implique la prise en compte de phénomènes locaux et globaux.



La caractéristique principale du climat urbain est l'îlot de chaleur urbain.

Le microclimat spécifique des villes, la forme urbaine affectant la circulation du vent, l'humidité proche de la surface, la fréquence d'apparition des phénomènes de brouillard, et augmentant la brise urbaine et la turbulence atmosphérique.

Ilot de chaleur urbain dû à une concordance de facteurs :

Facteurs d'intensification :

- Augmentation de l'absorption du rayonnement du fait de la géométrie et de l'effet combiné de la surface et des inter-réflexions,
- pollution atmosphérique
- sources de chaleur dues aux activités humaines,
- stockage de chaleur latente,
- manque d'évapotranspiration du fait des surfaces urbaines faiblement végétalisées,
- de transferts thermiques par transport du fait de la diminution de la vitesse du vent.

Sources : M. Musy (CERMA – Ecole Nationale Supérieure Architecture Nantes)

Intensité de l'îlot de chaleur en fonction de la vitesse du vent

Vitesse du vent de référence (m/s)	Intensité de l'îlot de chaleur (K)
1	4.5
2	3.4
3	3.4
4	2.6
5	2.2

$$\Delta T_{urMAX} = \frac{P^{0.25}}{(4U)^{0.5}}$$

Centre Ville de Paris. Escourrou G., Le climat et la ville. Presses universitaires Nathan, Paris 1991.

1.3 Identification et mesures

- La métrologie de terrain

Les difficultés d'interprétation des données de températures à l'échelle d'une agglomération.

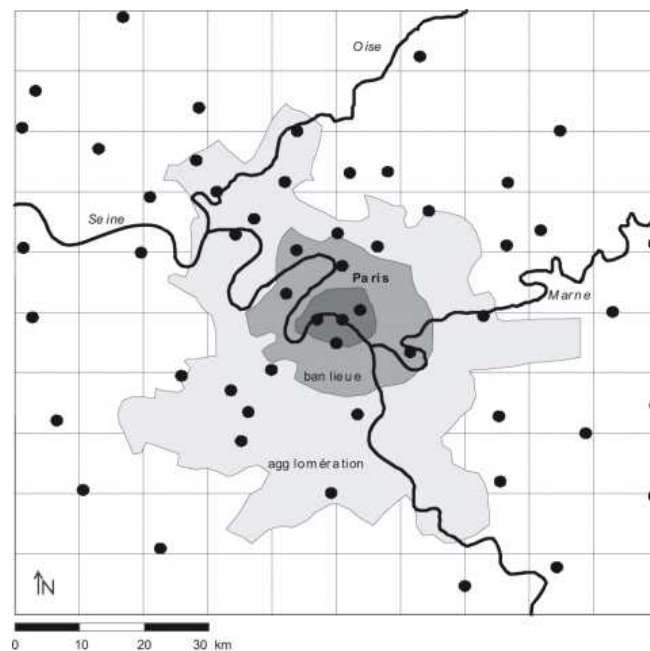
- L'écart de température dû véritablement à l'urbanisation est difficilement quantifiable.

- Des phénomènes microclimatiques naturels rendent la comparaison difficile entre villes et quartiers.
- Les centres urbains se sont souvent développés en fonction de configurations naturelles particulières (cours d'eau...) et donc dans des conditions climatiques singulières.
- Les relevés météorologiques disponibles proviennent principalement de stations de mesures situées en dehors des centres urbains (Bron, Le Versou à Grenoble) comme les zones aéroportuaires (qui en général ont été choisies en fonction de caractéristiques naturelles particulières et donc de conditions météorologiques particulières).

Un réseau de stations dense permettant de traduire l'allure générale de l'ICU

En région parisienne, la densité du réseau de mesures permet de préciser les caractéristiques d'intensité, de durée, de fréquence, de forme et d'étendue de cette « anomalie » thermique.

Densité actuelle du réseau de mesures thermométriques et principales auréoles urbaines



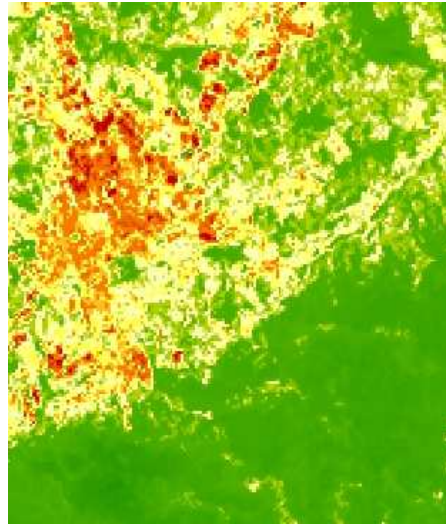
Les agglomérations de Rhône-Alpes ne possèdent pas cette densité de station pour mesurer l'ICU.

La spatialisation de détail de l'îlot de chaleur pourrait être réalisée grâce à l'utilisation d'un *Système d'Information Géographique (S.I.G.)* croisant des informations relatives à l'espace (géométrie du bâti, types de surface) et des mesures représentatives de la diversité thermique réelle des sites urbains (à l'instar des travaux de Charabi en 2001 sur la métropole lilloise, par exemple). Dans un souci de climatologie appliquée (pollution, santé...), il pourrait être intéressant d'inclure à ces modèles statiques la mobilité spatiale et temporelle de l'ICU. En effet, le vent est à l'origine de déformations

dont ne peuvent rendre compte les seules caractéristiques physiques de la ville (exportation de chaleur urbaine sur la campagne et/ou importation de fraîcheur rurale dans l'agglomération). La compréhension globale de l'îlot de chaleur urbain est un préalable à sa modélisation et *a fortiori* sa prévision. L'influence capitale des types de temps dans la genèse de l'ICU implique une approche tridimensionnelle et dynamique de l'atmosphère.

- **L'identification satellitaire**

En regardant une image satellite de jour, on voit que la ville est beaucoup plus chaude que son environnement.



St Etienne et le Pilat, image infrarouge corrigée (Landsat 2001)

C'est à partir de cet outil notamment que nous établirons la cartographie des probabilités d'îlots de chaleur de l'agglomération lyonnaise.

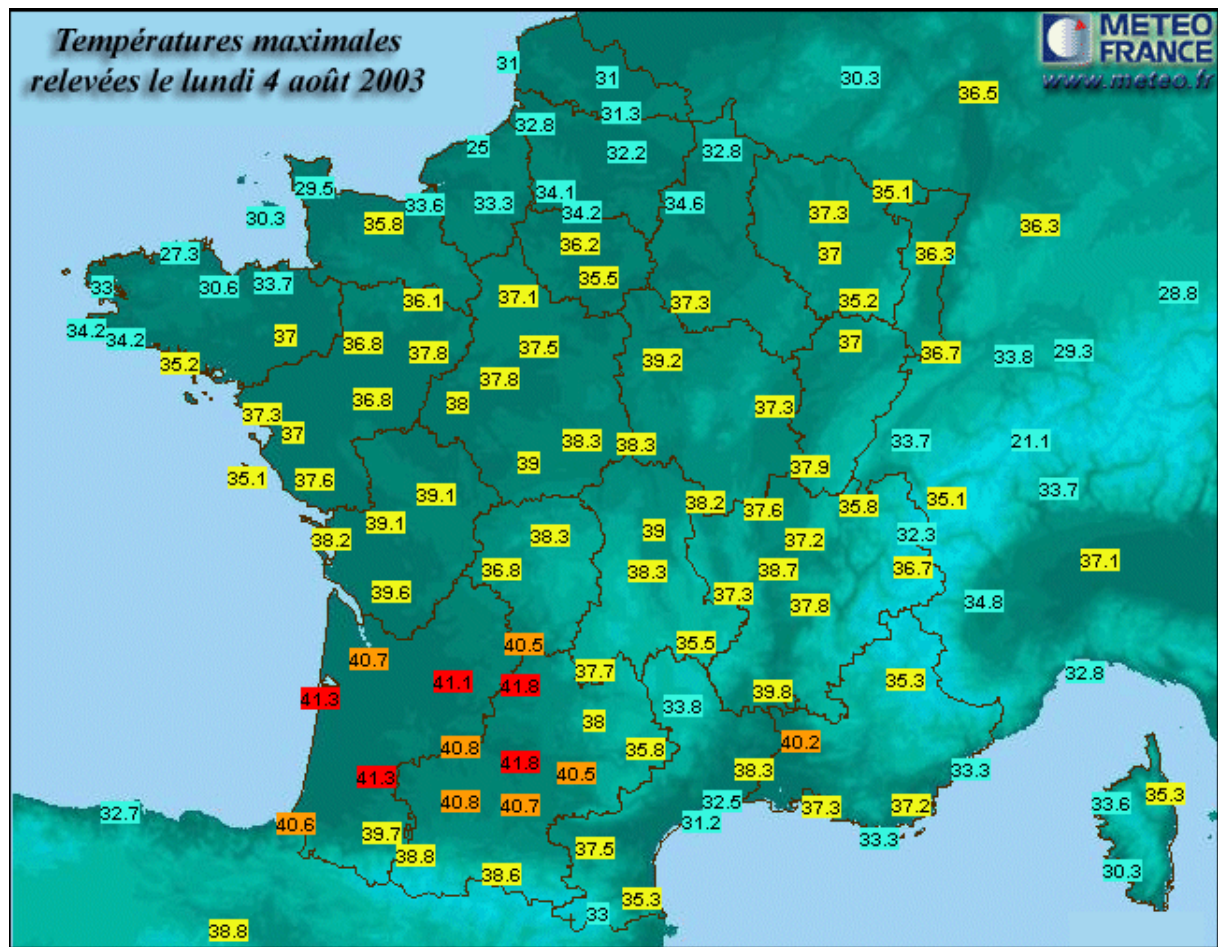
Les surfaces urbaines étant très chaudes dans la journée (et stockant ainsi de chaleur) elles limitent le refroidissement nocturne par circulation d'air dans la ville. L'image satellite montre des températures élevées dues aux toits ensoleillés (qui peuvent être très chauds), mais la température de l'air au niveau de la rue et des piétons peut être différente.

1.3 Les effets négatifs de l'ICU sur le confort thermique urbain

Les phénomènes de surchauffe estivale affectent la qualité de vie en ville, générant des inconforts thermiques pour les populations résidentes et des risques sanitaires pour les publics les plus fragiles.

- Effets d'inconfort des espaces publics, problèmes respiratoires, difficultés de récupération, surmortalité ...
- Effets sur la consommation électrique. En été les bâtiments climatisés ont une consommation énergétique accrue. L'évolution des exigences de confort d'été dans les bâtiments et la climatisation se développent fortement. Le refroidissement de l'air ambiant d'une ville ou d'un quartier qui à son tour diminue le besoin de climatisation (et à son tour limite les rejets de chaleur sur rue), retarde la formation pic de pollution et améliore le confort de l'environnement (*Rosenfeld et Coll. 1996, Akbari et Coll. 1997, Onopacki et Akbari, 2001*). Les avantages directs à l'échelle du bâtiment, consistent à réduire les températures de surface qui permettent automatiquement de réduire la consommation d'énergie des bâtiments notamment en été.
- Les charges thermiques pouvaient être doublées par l'effet d'îlot de chaleur, alors que le coefficient de performance (COP) des systèmes d'air conditionné était réduit de 25%.

L'augmentation de fréquence des phénomènes climatiques extrêmes, liée au dérèglement climatique risque d'aggraver ces phénomènes thermiques dans les prochaines décennies, ce qui nécessite de la part des pouvoirs publics, des politiques anticipatrices de protection de la qualité de vie en milieu urbain.



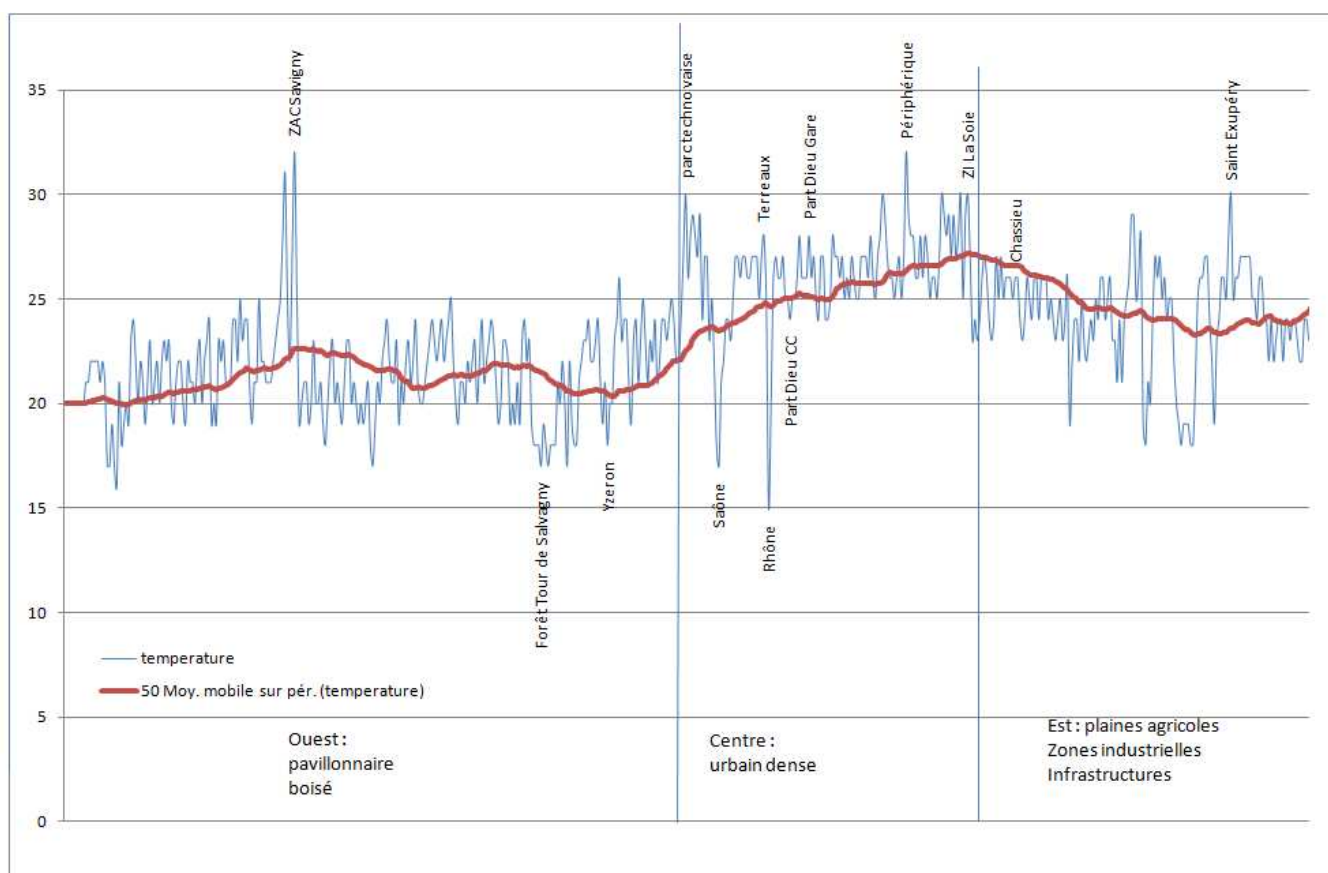
Les effets positifs de l'ICU en hiver

En hiver l'effet peut être positif : le centre d'Athènes une diminution de charge de chauffage de 30 à 50% par rapport à celle de la banlieue.

2. Identification des ICU potentiels de l'agglomération lyonnaise

2.1 Le transect des températures de surface de l'agglomération lyonnaise

Transect de températures de l'agglomération lyonnaise : illustration de l'îlot de chaleur urbain sur l'agglomération lyonnaise



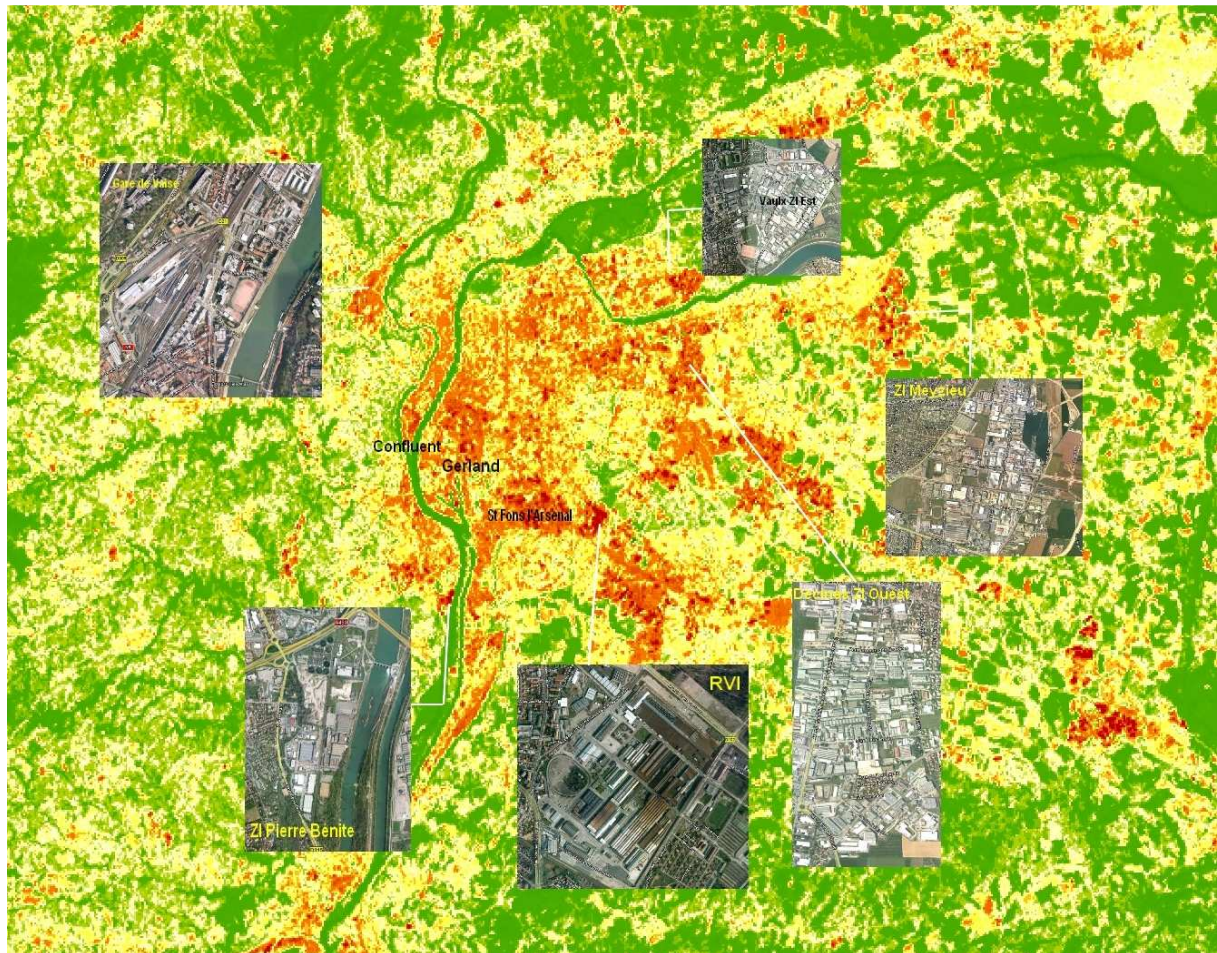
Sources : Agence d'Urbanisme de Lyon



L'îlot de chaleur urbain (ICU) sur l'agglomération lyonnaise est créé par le contraste de température entre la ville et sa campagne, les deux interagissant avec l'atmosphère.

L'ICU de l'agglomération atteint les températures les plus fortes sur le centre ville, mais est décalé à l'Est avec des valeurs exceptionnelles mesurées sur le périphérique et les zones d'activités.

Les « hot spot » de l'agglomération lyonnaise : pour l'essentiel, des zones d'activités.



Cette carte Landsat détaillée ci-après montre l'importance des zones industrielles et commerciales dans la mesure des températures les plus élevées. Ce type de zone est particulièrement artificiel et dépourvu de puits de fraîcheur en son sein (espace vert, arbres d'alignement, arbres plantés sur zones de parking, pièces d'eau...).

Ces zones contribuent donc largement au phénomène d'ICU de l'agglomération. Il faut préciser cependant que le satellite mesure les radiations et donc les températures des toitures. La densité des toitures industrielles fait donc apparaître plus nettement qu'ailleurs les risques d'îlots de chaleur, que seule une mesure au sol pourrait confirmer.

Le parc technologique de la porte des Alpes à l'entrée Est de l'agglomération lyonnaise est équipé de bassins d'infiltration d'eau pluviale. L'une des rares zones d'activités qui ne soit pas un îlot de chaleur urbain.



(Certu-Stéphane Autran

2.2 Identification des potentialités d'ICU par l'analyse de la bande thermique de Landsat.

Image 1- données brutes re-colorisées

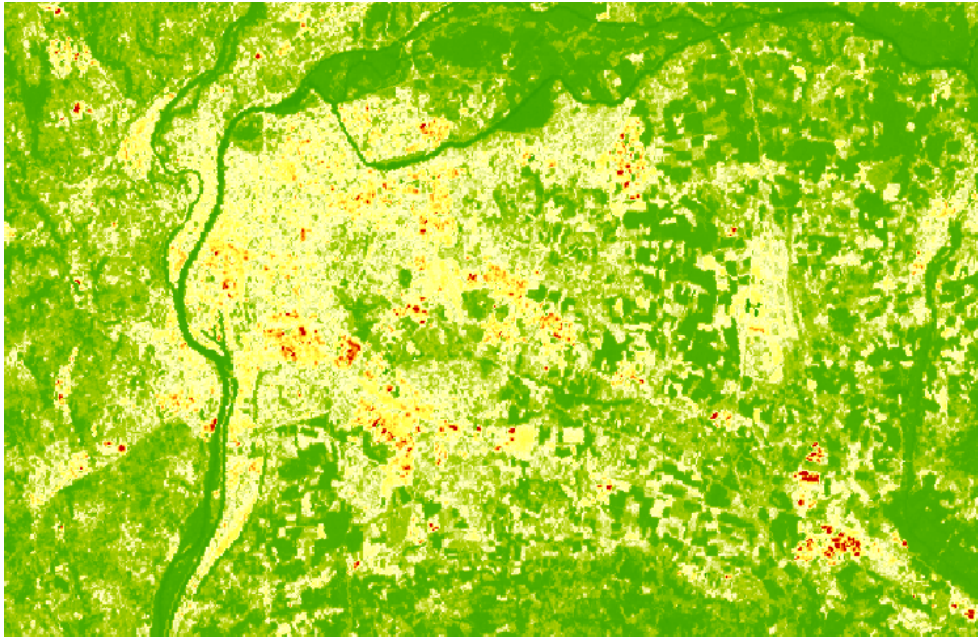
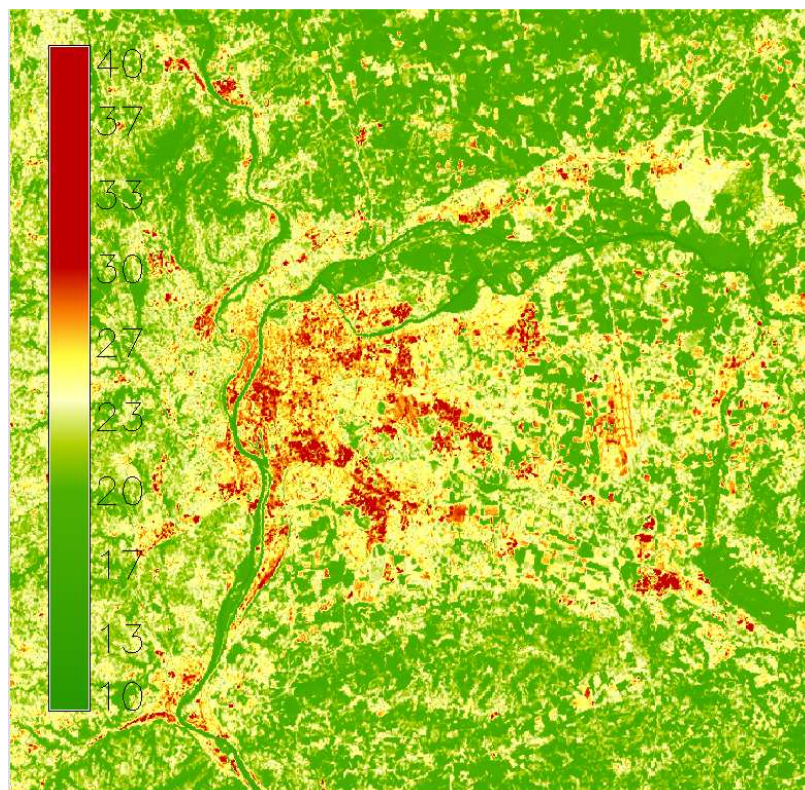


Image 2 – Autre représentation (variation des intervalles de température et de couleurs)



Sur la dernière image, le renforcement de la couleur a été obtenu en abaissant le seuil pour la couleur rouge et en réduisant l'intervalle des températures tous les 2 degrés, au lieu de 4 comme précédemment – dans le choix des couleurs.

La détermination de la localisation des îlots de chaleurs urbains par **télé-détection** consiste à traduire les radiations émises des matériaux en variations de températures en degré celsius. Dans notre cas, ce calcul s'effectue à partir de la **bande thermique du satellite Landsat 5 ou 7**. Au préalable, une correction radiométrique est nécessaire avant d'appliquer l'algorithme de calcul (cf. annexe). Ces manipulations ont été réalisées à l'aide du **logiciel libre GRASS**. La nouvelle image obtenue permet de distinguer **les écarts de températures de surface des matériaux**. Ce principe a été appliqué sur l'agglomération de Lyon à partir d'une image datant du 21 juillet 2007 (landsat 7, bande 61)

Matériels (voir méthode de traitement en annexe).

- Images Landsat 7, bande thermique 61, disponible sur <http://glovis.usgs.gov/> ou <http://edcsns17.cr.usgs.gov/EarthExplorer/>
- GRASS : Logiciel libre SIG <http://grass.itc.it/>

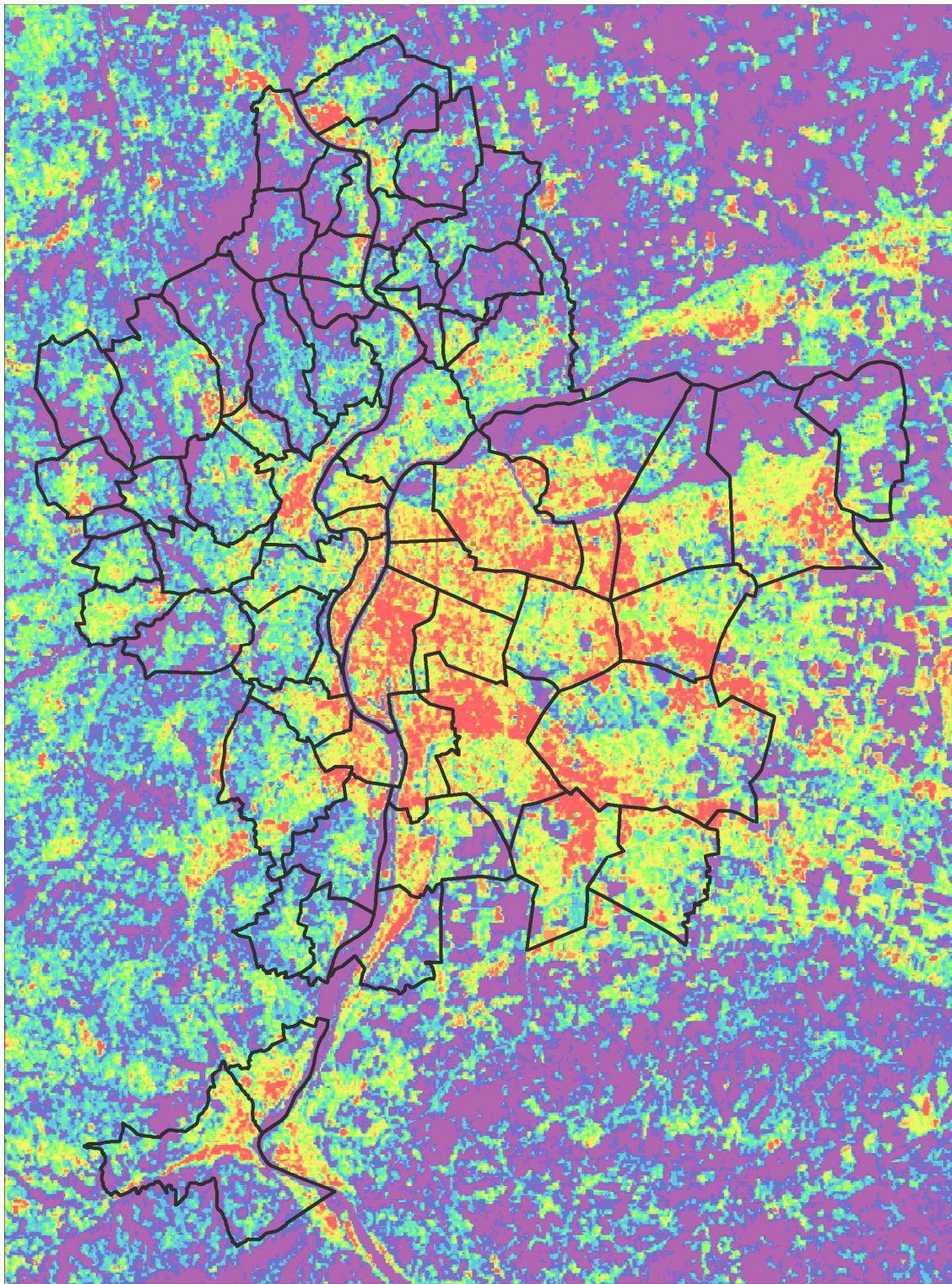
3. Résultats

Les images suivantes permettent de localiser les zones de formation probables des ICU et d'appréhender la contribution relative des différentes surfaces minéralisées et naturelles à l'élévation des températures.

L' image satellite montre des températures élevées dues aux toits ensoleillés (qui peuvent être très chauds), mais la température de l'air au niveau de la rue et des piétons n'est pas influencée directement par ces températures de toit. La turbulence atmosphérique, importante durant la journée, mélange l'air au dessus de la ville (jusqu'à typiquement 1km) et l'air de la campagne, limitant l'influence directe (généralement élevée) du flux de chaleur produit par la ville.

Image 3 – localisation des ICU de l'agglomération lyonnaise

légende

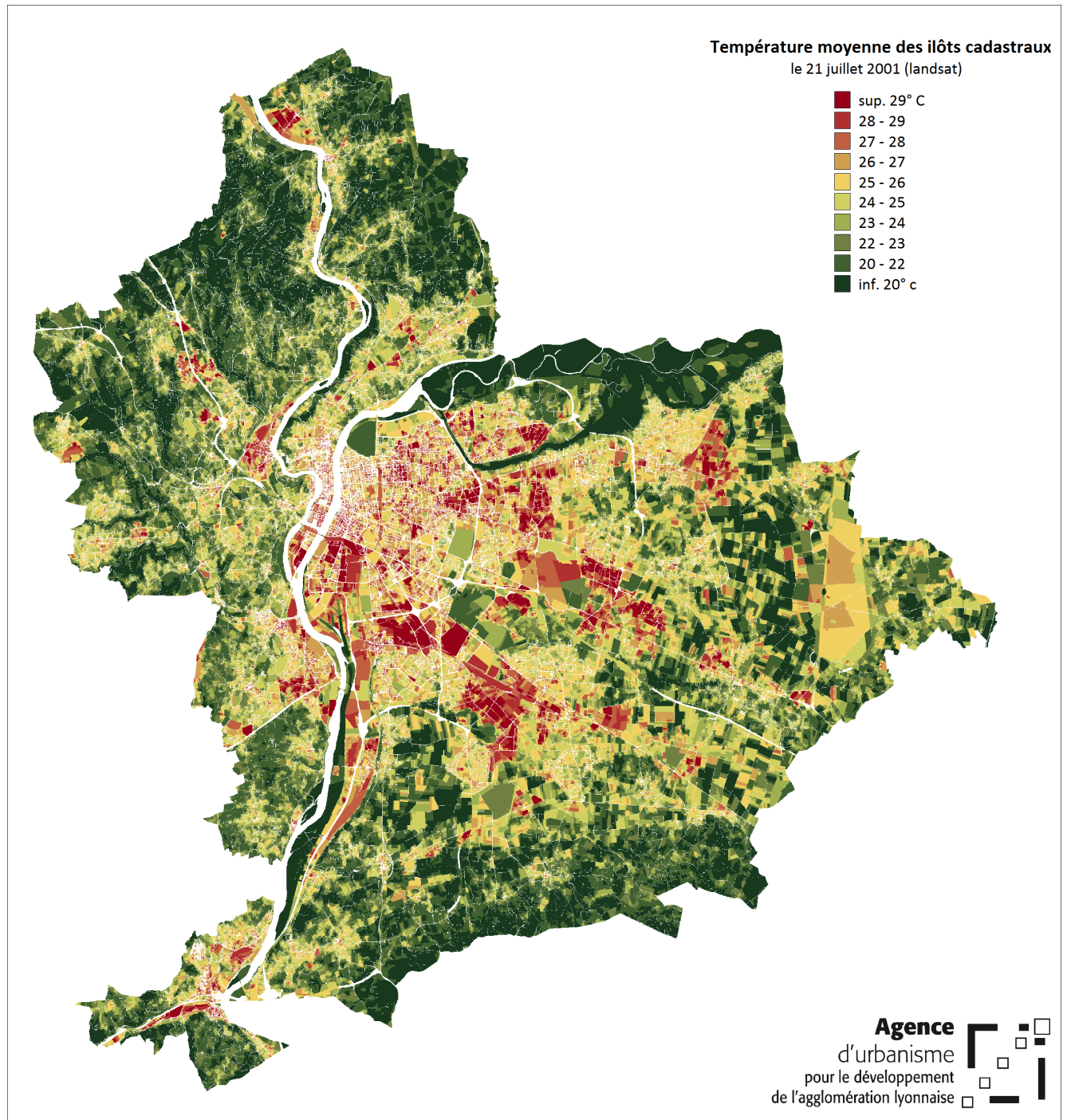


Sources : Agence d'Urbanisme de Lyon

Les lieux fortement minéralisés comme les centres-villes, les zones industrielles et commerciales, les grands stationnements et les voies majeures de circulation représentent les secteurs les plus touchés

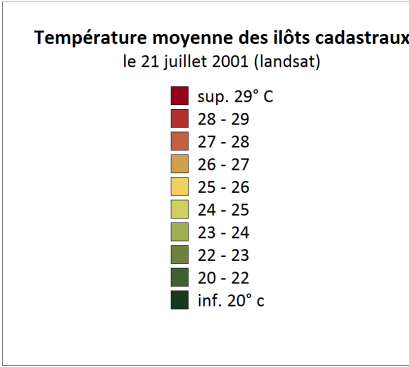
par l'inertie thermique estivale. La carte de l'agglomération met en évidence ce constat. Les zones teintées d'orange à rouge correspondant aux secteurs particulièrement affectés par les îlots de chaleur. Les zones vertes, bleues et violettes traduisent quant à elles, la présence importante de végétaux et d'eau.

Image 4 – températures moyennes par îlot cadastral de l'agglomération lyonnaise



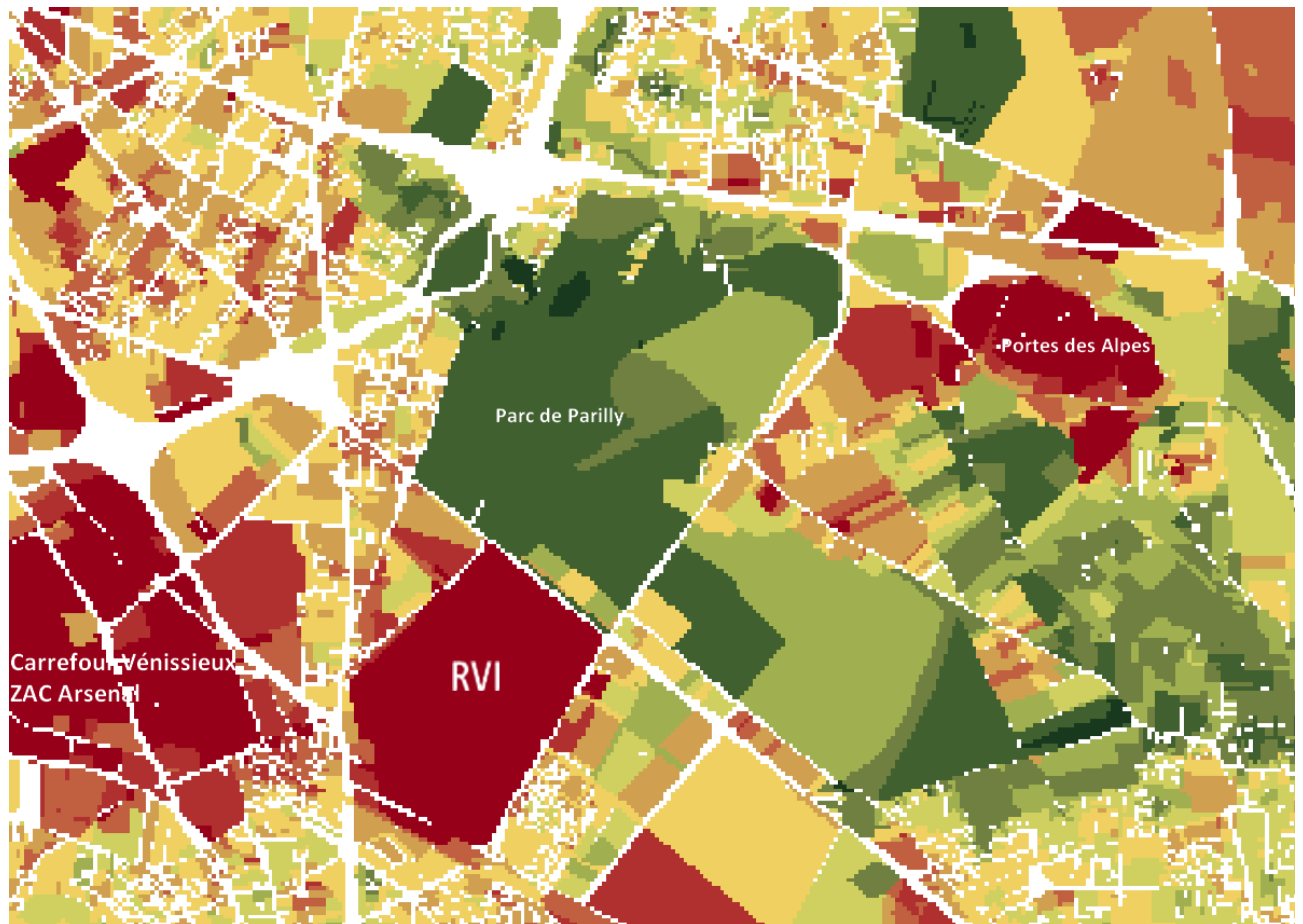
Sources : Agence d'Urbanisme de Lyon

Image 5 : Les îlots de chaleur du quartier de la Part Dieu

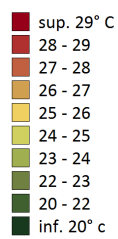


Sources : Agence d'urbanisme de Lyon

Image 6 : zoom Est lyonnais



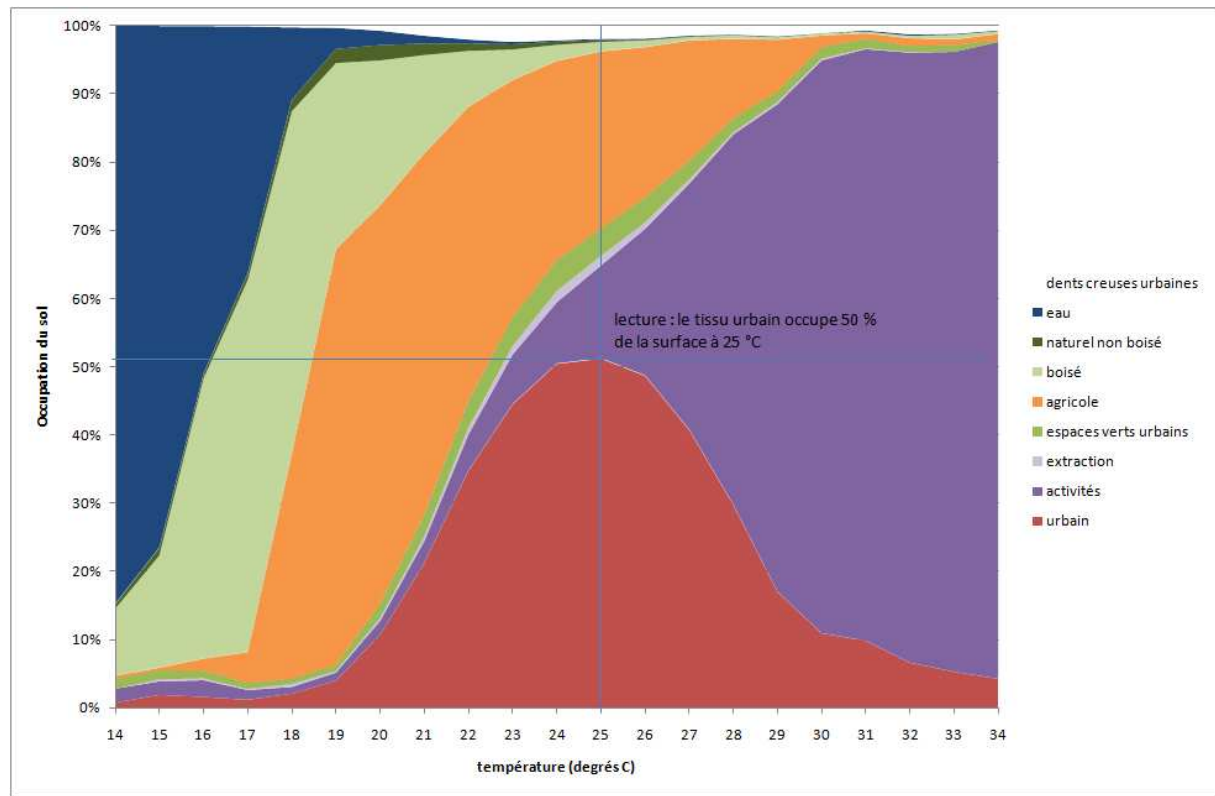
Température moyenne des îlots cadastraux
le 21 juillet 2001 (landsat)



Sources : Agence d'urbanisme de Lyon

2.4 Distribution des températures en fonction de l'occupation des sols

Distribution des types d'occupation des sols en fonction des températures sur l'agglomération lyonnaise

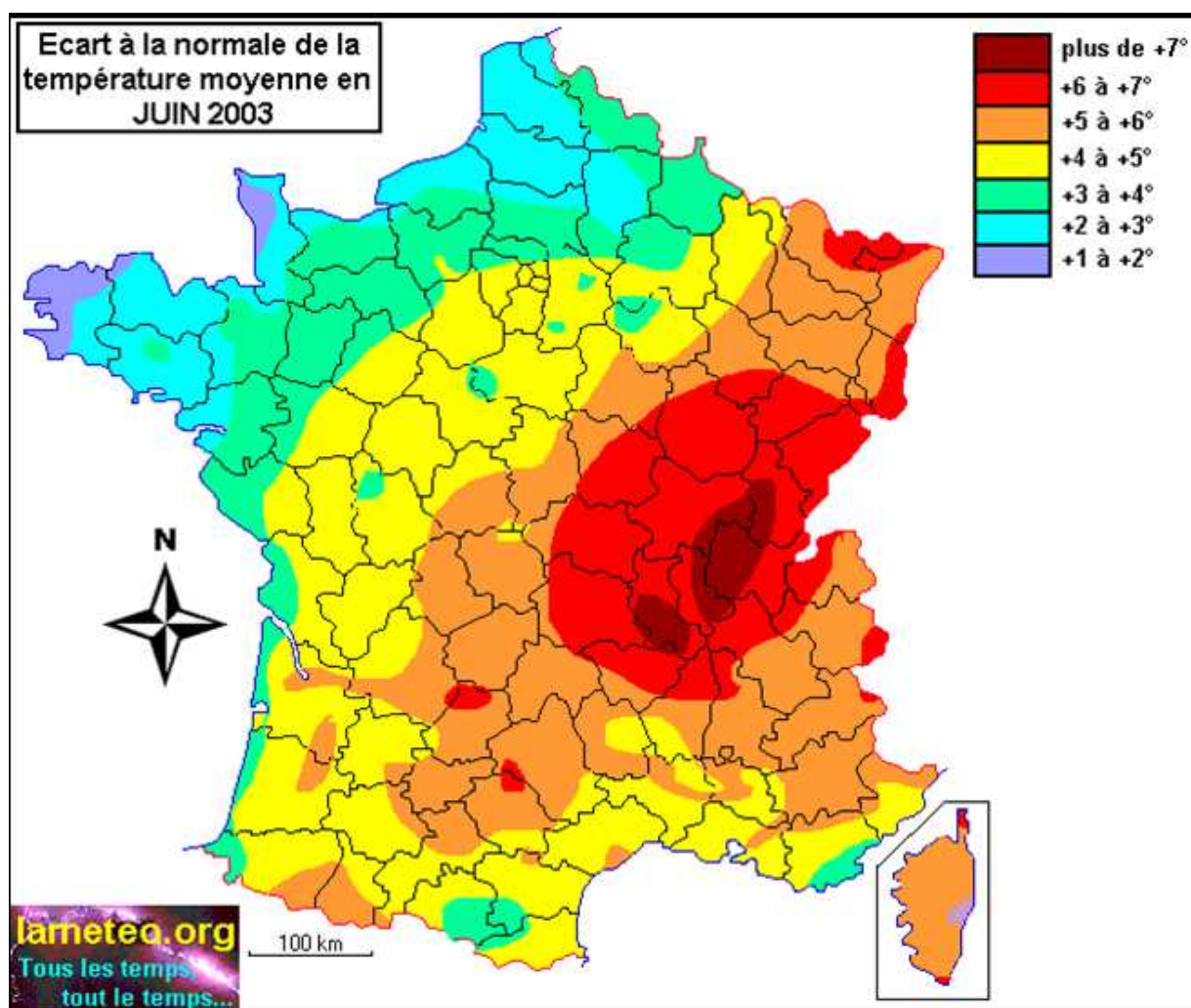


Sources : Agence d'Urbanisme de l'agglomération lyonnaise (spot thema 2000/Landsat 2001)

3. Evaluation de la vulnérabilité des populations

3.1 Une région continentale exposée aux fortes chaleurs estivales.

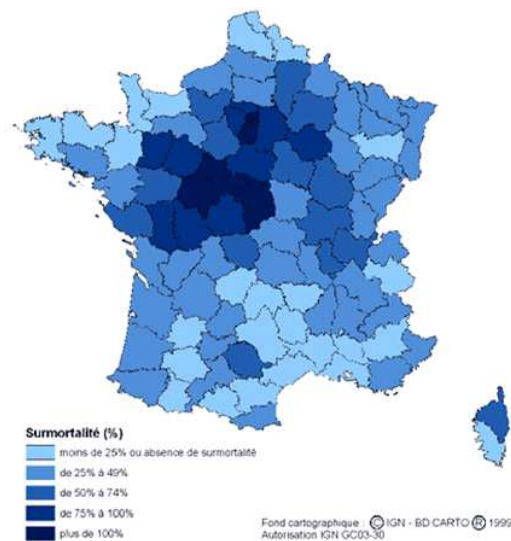
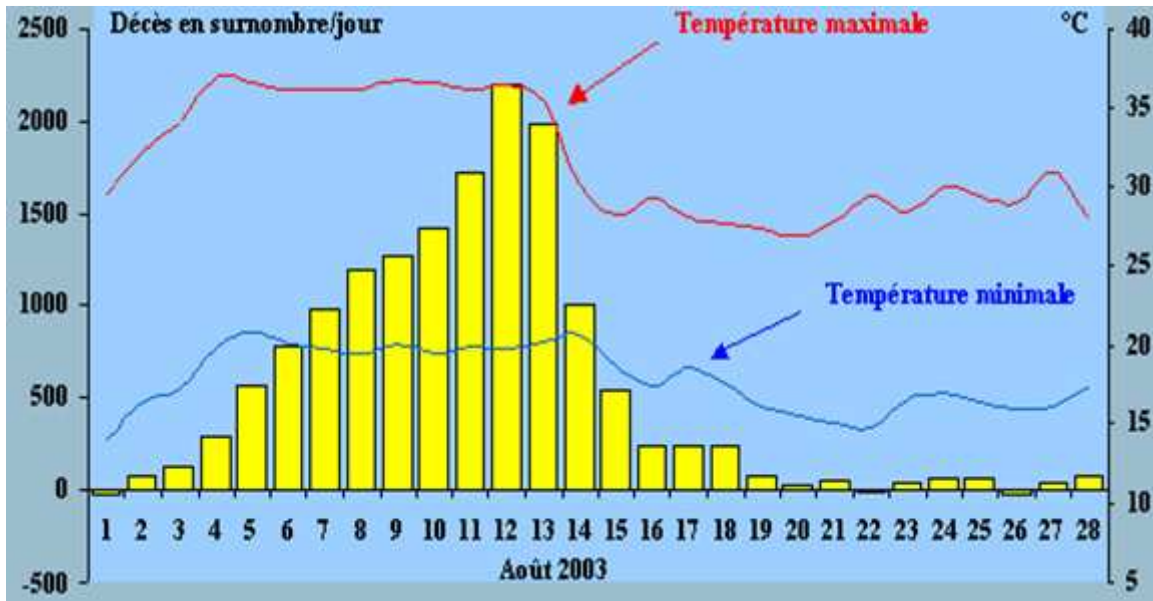
L'ensemble des 3 villes de Rhône-Alpes et en particulier l'agglomération lyonnaise, relèvent d'un climat continental, marqué par de fortes chaleurs estivales.

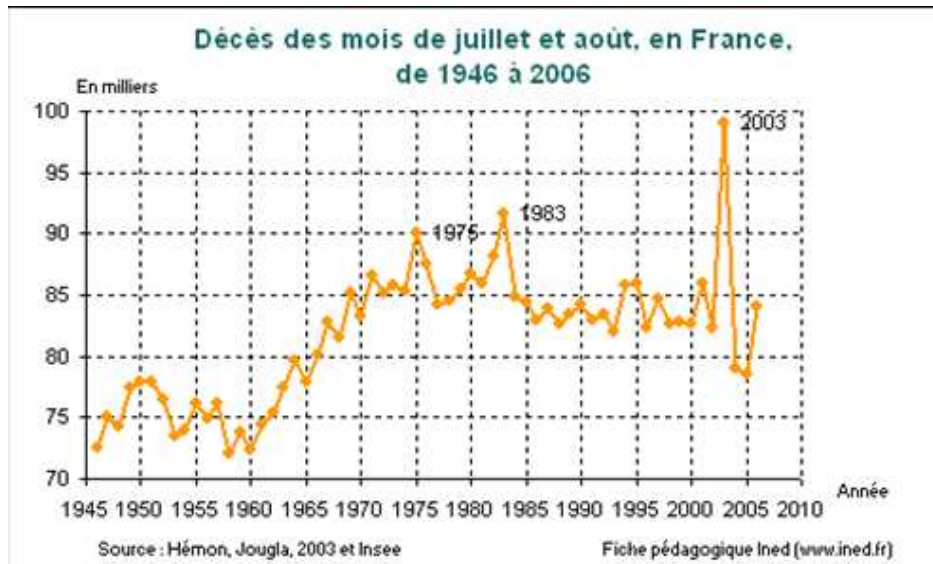


3.2 Une corrélation établie entre la température et la surmortalité

La corrélation entre la température moyenne journalière et la surmortalité due à cette chaleur excessive est établie.

- Etude de la canicule de 2003 en France





- Etude sur Londres de 1976 à 1996

- La surmortalité liée à la chaleur augmente linéairement avec la température au-delà de 19°C (température journalière moyenne).
- Pour une variation de 1°C au-delà de cette valeur moyenne, une surmortalité de 3,34% était constatée.
- L'augmentation de la valeur minimale de température est plus importante que celle de la valeur maximale. (Hajat et coll.).

- Etude sur Marseille

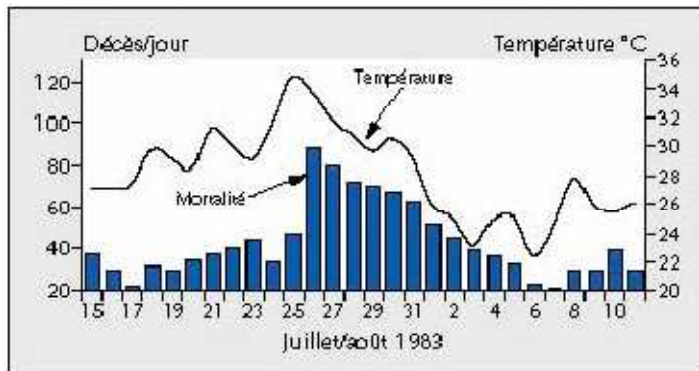


Figure 1. Mortalité et température moyenne journalière à Marseille, du 15 juillet au 12 août 1983. Normales de la période : 27 décès/ jour et 23,4 °C (sources : Observatoire régional de la santé de Provence- Alpes- Côte d'Azur/Météo-France).

- Etude sur Athènes

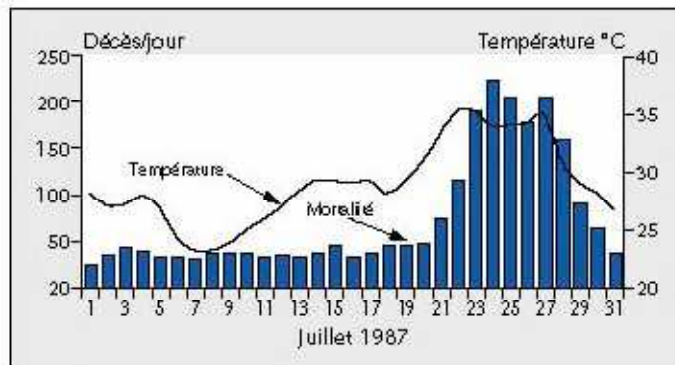


Figure 2. Mortalité et température moyenne journalière à Athènes, en juillet 1987. Normales de la période : 33 décès/jour et 27,2 °C (sources : ministère grec de la Santé et de la Protection sociale/ Observatoire d'Athènes).

- Un effet cumulatif avec la surmortalité due à la pollution de l'air

La CIRE a développé un comparatif des grandes villes françaises en terme de surveillance épidémiologique de la pollution atmosphérique (Programme Psas-9) sur Lyon, Marseille, Toulouse, Bordeaux, Rouen, Le Havre, Lille, Strasbourg, Paris.

TABLEAU 7.2. : TAUX (IC 95 %) POUR 100 000 HABITANTS ET PAR AN DE DÉCÈS ANTICIPÉS ATTRIBUABLES À LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE POUR DES NIVEAUX DE POLLUTION SUPÉRIEURS À 10 µg/m³ DANS LES NEUF ZONES D'ÉTUDE

	Mortalité totale	Mortalité cardio-vasculaire	Mortalité respiratoire
Bordeaux	3,8 (2,9 - 4,8)	0,9 (0,2 - 1,8)	0,2 (0,0 - 0,5)
Le Havre	24,1 (11,1 - 36,6)	8,8 (3,1 - 14,1)	2,1 (0,8 - 3,3)
Lille	9,3 (4,1 - 13,2)	4,8 (1,8 - 7,6)	1,1 (0,4 - 1,8)
Lyon	28,2 (20,2 - 36,0)	11,9 (5,1 - 18,4)	3,3 (1,3 - 5,1)
Marseille	24,4 (13,1 - 35,4)	13,3 (4,6 - 20,5)	3,3 (1,6 - 4,9)
Paris	30,6 (22,0 - 38,9)	10,9 (4,7 - 16,8)	3,3 (1,4 - 5,2)
Rouen	17,7 (9,3 - 25,4)	8,5 (3,0 - 13,5)	2,3 (1,1 - 3,4)
Strasbourg	24,8 (17,8 - 31,6)	10,9 (4,6 - 16,8)	2,8 (1,3 - 4,1)
Toulouse	14,3 (7,6 - 20,7)	7,6 (2,7 - 12,0)	1,9 (0,9 - 2,8)

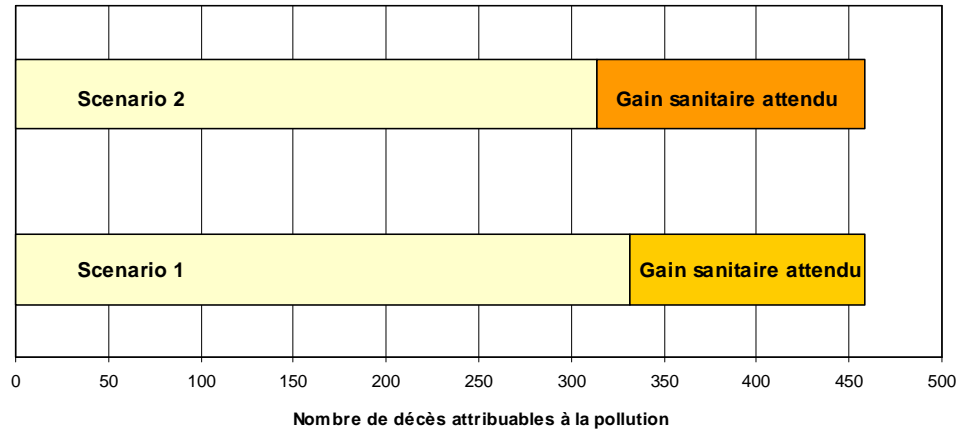
Impact sanitaire total à court terme (pour les niveaux de référence : 40 µg/m³ pour O₃ et 10 µg/m³ pour SO₂, NO₂ et PM₁₀).

Les recommandations de la CIRE vont dans le sens d'une amélioration quotidienne de la qualité de l'air à la gestion des pics de pollution.

Deux scénarii ont été imaginés par la CIRE dans le cadre du Plan de Protection de l'Atmosphère de l'agglomération lyonnaise :

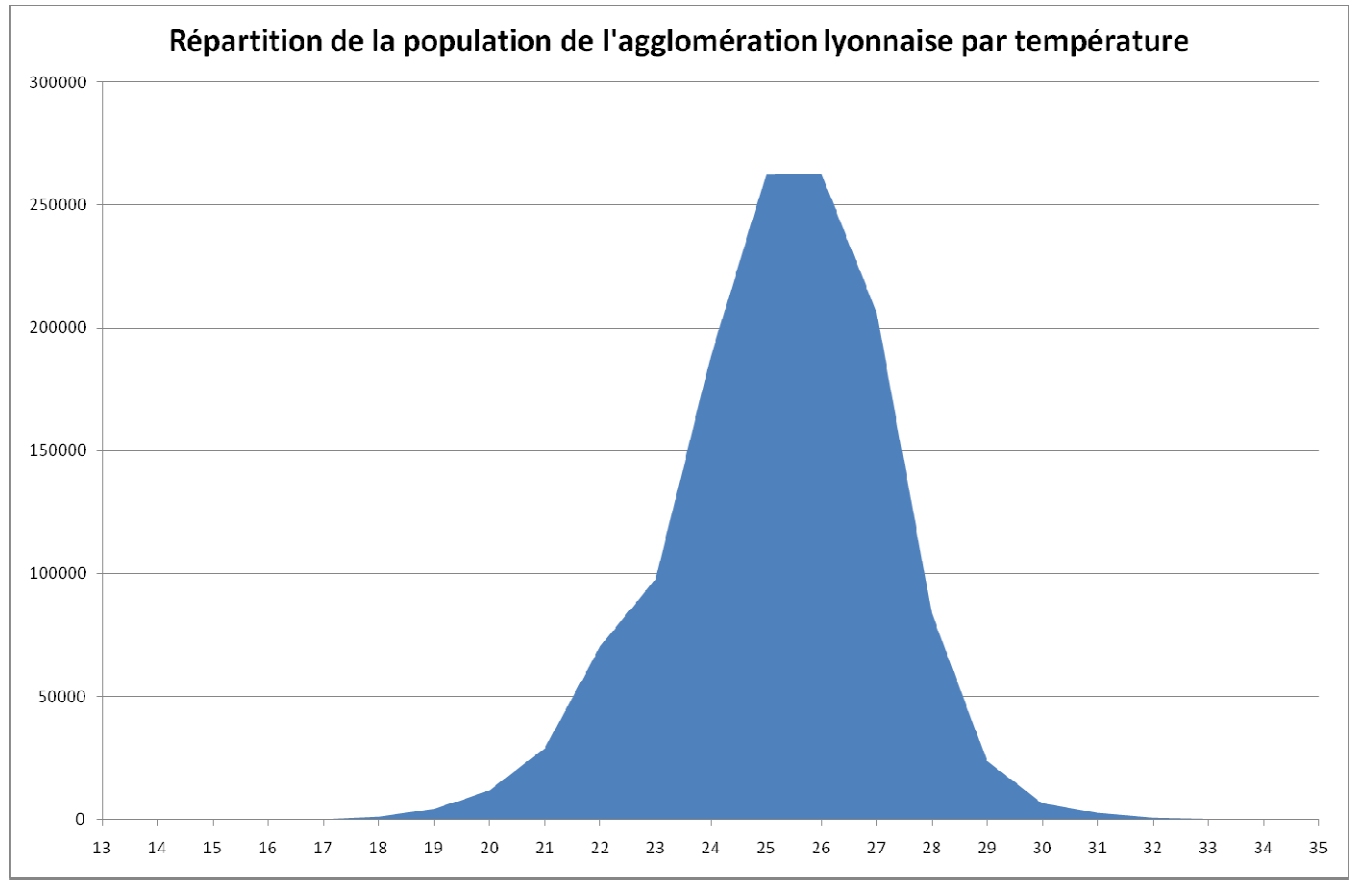
- **Scénario 1 : diminution des niveaux dépassant les valeurs limites du PPA = diminution des « pics de pollution »**
- **Scénario 2 : diminution de 25% de la moyenne journalière pour chaque polluant**

**Mortalité
anticipée**



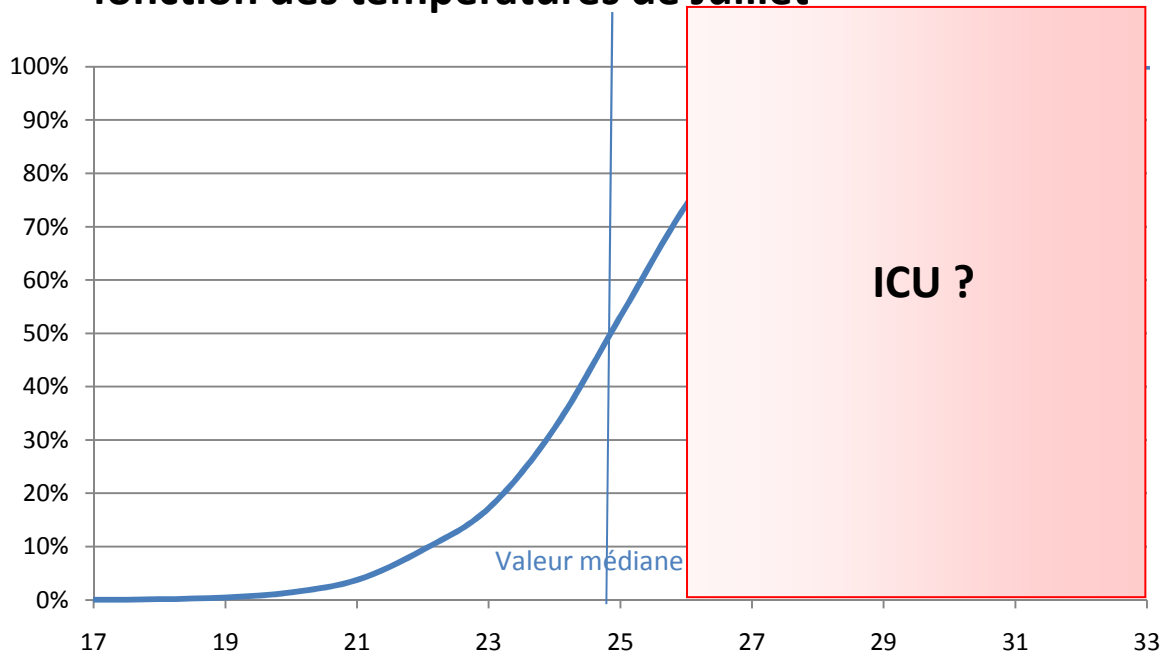
Pour la CIRE, le nombre de décès anticipés attribuables à la pollution n'est pas un excès absolu de mortalité.

3.3 Répartition de la population lyonnaise par iso-températures



3.4 La moitié de la population de l'agglomération concernée ?

Répartition de la population du Grand Lyon en fonction des températures de Juillet



La moitié de la population de l'agglomération vit dans des secteurs où il fait plus de 25 °C en température et date de référence (Juillet).

Près de 600 000 habitants concernés par les ICU estivaux ?

580 000 habitants vivent dans des secteurs où les températures de référence sont supérieures à 26 °C.

325 000 habitants vivent dans des secteurs où les températures de référence sont supérieures à 27°C.

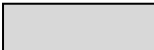
11 000 personnes sont concernées par des valeurs de référence extrêmes, supérieures à 30°C (essentiellement en urbain dense)

3.5 La corrélation entre types d'occupation des sols / forme urbaine et probabilité d'ICU

Répartition de la population du Grand Lyon par type de tissus urbains et par températures

Températures	111 urbain dense	112 pavillonnaire dense	113 pavillonnaire peu dense	114 discontinu collectif	115 discontinu mixte	116 habitat isolé	total
13					4		4
14		5	2		8		16
15		28	18		43	1	89
16		107	8	54	42	77	287
17		92	59	74	24	56	305
18	177	279	360	224	64	126	1231
19	509	846	1389	1250	184	158	4337
20	1108	1913	3765	4241	644	306	11978
21	2323	4150	8870	11582	1795	433	29153
22	7380	10754	16094	32025	3867	461	70581
23	11334	18745	15977	45402	6142	256	97856
24	29275	38025	14379	91567	14914	171	188331
25	63902	47090	6648	119745	24792	100	262277
26	103952	26737	2114	98706	31124	32	262665
27	117995	11539	638	51232	24931	12	206346
28	56208	2889	187	13406	11202	2	83894
29	14968	952	71	3329	4480	1	23801
30	3176	267	13	1483	1659		6599
31	962	122	22	1033	549		2688
32	492	18	6	198	153		868
33	115	15	11	193	82		416
34		3	2	52	104		162
35				13	8		21
Total de population par type de tissu urbain	413 876 (33 %)	164 344 (13%)	70 547 (6%)	475 684 (38%)	126 694 (10%)	2059 (<1%)	1 253 204

RGP 2006/ spot thema 2005/Landsat Juillet 2001

 Valeurs exceptionnelles représentant peu de population (inférieure à 400 habitants)

Répartition de la population du Grand Lyon par type de tissus urbains et par températures (en cumul)

Températures	111 urbain dense	112 pavillonnaire dense	113 pavillonnaire peu dense	114 discontinu collectif	115 discontinu mixte	116 habitat isolé	total
13	0	0	0	0	4	0	4
14	0	5	2	0	12	0	20
15	0	33	20	0	55	1	109
16	0	139	28	54	97	78	396
17	0	231	87	128	120	134	700
18	177	510	447	352	185	260	1932
19	687	1356	1836	1603	369	418	6268
20	1794	3270	5601	5844	1013	724	18246
21	4117	7419	14471	17426	2808	1157	47399
22	11497	18173	30565	49452	6675	1618	117980
23	22831	36918	46542	94853	12817	1875	215836
24	52106	74943	60921	186420	27730	2046	404167
25	116009	122033	67569	306166	52522	2146	666444
26	219961	148770	69683	404872	83646	2177	929109
27	337956	160309	70321	456103	108577	2190	1135456
28	394164	163198	70508	469510	119779	2191	1219350
29	409132	164150	70579	472839	124259	2193	1243151
30	412308	164418	70592	474322	125918	2193	1249750
31	413269	164540	70614	475355	126467	2193	1252438
32	413761	164558	70620	475553	126620	2193	1253305
33	413876	164572	70632	475746	126702	2193	1253721
34	413876	164575	70634	475799	126807	2193	1253883
35	413876	164575	70634	475812	126814	2193	1253904

RGP 2006/spot thema 2005/ Landsat Juillet 2001

Médiane

4. Mesures de résorption

Connaître les phénomènes physiques en jeu permet d'étudier l'influence de la forme urbaine et de dispositifs particuliers qui pourraient être imaginés et de déterminer les paramètres influents pour mieux concevoir la ville dans une perspective de réchauffement climatique.

4.1 La nature des matériaux de construction et de la forme urbaine dans la formation de l'ICU ?

4.1.1 Définitions

- **L'albédo** est le rapport de l'énergie solaire réfléchi par une surface à l'énergie solaire incidente. On utilise une échelle graduée de 0 à 1, avec 0 correspondant au noir, pour un corps sans aucune réflexion (qui conserve l'énergie), et 1 au miroir parfait, pour un corps diffusant dans toutes les directions et n'absorbant rien du rayonnement électromagnétique visible qu'il reçoit.
- **L'infrarouge** est associé à la chaleur car, à température ambiante ordinaire, les objets émettent spontanément des radiations dans le domaine infrarouge. Le rayonnement est détecté, les objets les plus chauds devenant aussi les plus lumineux.

4.1.2 ICU et formes urbaines

L'albédo d'une ville ou d'un quartier dépend de la forme du tissu urbain et de la nature des matériaux de revêtements utilisés.

- L'albédo diminue quand les irrégularités augmentent, (plus marqué en hiver).
- L'hétérogénéité des hauteurs fait également diminuer l'albédo
- L'albédo augmente avec l'angle solaire zénithal.
- Il y a une variation saisonnière de l'albédo moyen calculé sur une journée.

Villes nord africaines : albédos de 0.30 à 0.45
USA et européennes : albédos faibles 0.15 à 0.20.
Albédos plus faibles en périphérie des villes du fait d'une végétation plus présente qu'en centre urbain dense. (Taha, 1997).

La forme des toits et leur orientation influencent également la quantité de rayonnement absorbée par le bâtiment.

4.1.3 Le rôle des matériaux dans la formation de l'ICU

- Les caractéristiques de réflexion des toits ont le plus d'influence sur l'albédo équivalent de la surface urbaine.

- Quand la hauteur des bâtiments diminue, les caractéristiques de réflexion du sol et des murs reprennent de l'importance.

Les techniques nécessaires à la connaissance des caractéristiques radiatives des matériaux sont bien maîtrisées et on peut ainsi caractériser toutes sortes de matériaux.

La démarche de caractérisation doit être systématisée pour tous les produits du marché, et les propriétés réfléchissantes des matériaux mises en avant afin d'inciter fortement les aménageurs et concepteurs à utiliser des matériaux à haut pouvoir réfléchissant.

Le choix d'un matériau se faisant en fonction de l'ensemble de ses propriétés.

Le comportement du matériau vis-à-vis de la rétention de l'eau peut également être examiné (propriétés d'absorption d'eau et de refroidissement par évaporation).

Extraits du travail de M. ATHAMENA Khaled Master STEU Ambiances et formes urbaines 2007-2008
Laboratoire CERMA (Nantes)

- **L'utilisation des matériaux ayant une forte réflexion solaire (blancs) dans les enveloppes des bâtiments et dans les environnements urbains diminuent l'îlots de chaleur.**

Les peintures blanches et les revêtements blancs ont un pouvoir de réflexion supérieure à celui des autres couleurs, jusqu'à 90% plus supérieurs que celui des peintures noires. (*Synnefa, Santamouris, Livada, 2005*) ;

À l'échelle de la ville, l'augmentation de la réflexion solaire contribue elle aussi à la réduction de la température de l'air due aux phénomènes de transfert de chaleur.

- **Des gains de 4 à 7 °C**

L'utilisation des matériaux de haut albédo réduit la quantité de rayonnement solaire absorbé par le biais des enveloppes de bâtiments et de structures urbaines et garde leurs surfaces plus froides. Les recherches ont montré que la température de l'air intérieur pendant une journée d'été peut être abaissée de près de 4 C° en changeant l'albédo des surfaces de 0,25 à 0,40 dans les climats chauds d'attitudes moyennes (*Taha et Coll. 1997*)

- **Le rôle des toitures**

Les mesures ont montré aussi que les toits peints avec des revêtements blancs ont une forte réflectivité qui peut atteindre 72%. Cette dernière est supérieure à celle des toitures de couleur sombre ou noire qui ne dépasse pas les 26%. (*Bansal, Garg, Kothari, 1992, Bretz et Akbari, 1997, Synnefa, Santamouris, Livada, 2005*),

Les toits peints en noir ont enregistré des valeurs de températures supérieures de 7C° par rapport à ceux peints en blanc pendant les heures de plein soleil (*Akbari et Coll. 2003*).

Les résultats ont montré aussi que les carreaux de béton traités en blanc (peinture d'acrylique, latex d'acrylique, Alkyde caoutchouc chloré, peinture acrylique élastomère) peuvent réduire la température de surface sous les conditions chaudes de l'été de 4 C° pendant la journée et de 2 C°

pendant la nuit par rapport aux tuiles de béton non revêtues en blanc. Ils peuvent être plus chauds, que l'air ambiant par seulement 2 C° pendant la journée et plus froid que l'air ambiant de 5,9 C° la nuit.

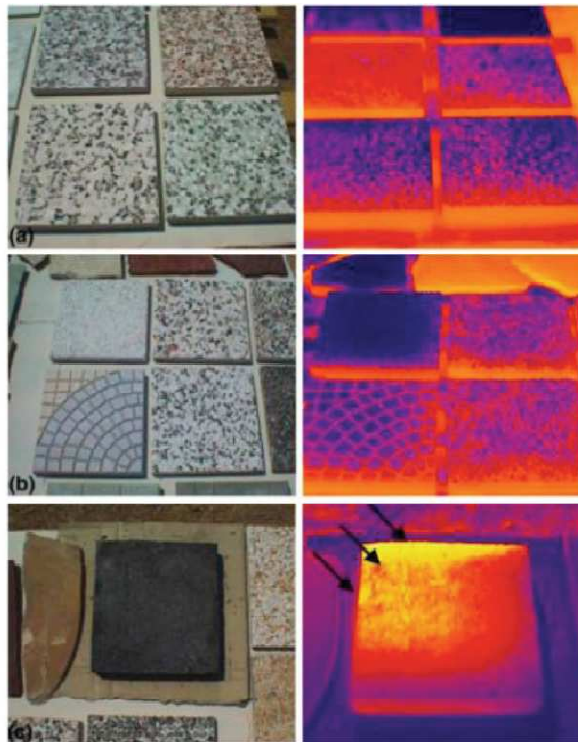
Leur application à l'environnement urbain à un grand potentiel en matière de réduction des températures de surface.

La température de surface mesurée est hétérogène

Contraste dans la couleur

Rugosité

Phénomènes de transfert de chaleur



<i>Peinture</i>		Albédo
Peintures cellulósique		
• blanc	○	0.82
• jeunes	●	0.77
• Orange	●	0.63
• Rouge vif	●	0.66
• Rouge sombre	●	0.47
• Gris	●	0.25
• Vert brillant	●	0.21
• Vert claire	●	0.50
• Vert sombre	●	0.12
• Bleu	●	0.18
• Bleu foncé	●	0.09
• Marron	●	0.23
• Marron claire	●	0.22
• Noir	●	0.05

Mesure et comparaison des différences entre la température de surface du matériau et l'air. L'augmentation de la réflexion solaire varie avec la couleur du revêtement, mais elle est plus élevée pour les couleurs foncées.



Doulos, L.; Santamouris, M. & Livada, I. Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials Solar Energy, 2004, 77, 231-249

Matériaux/Couvert	Albédo
Miroir	1
Plâtre blanc	0.93
Aluminium	0.60 à 0.85
Cuivre	0.82
Mur pisé (2000kg/m3)	0.80
Marbre	0.66
Sable pulvérulent blanc	0.55
Pierre - Granit, Gneiss - Basaltes	0.44
Bois	0.40
Béton	0.35
Pierre	0.2 à 0.35
Tuile en terre cuite	0.35
Tuiles d'argile rouge	0.33
Gazon vert	0.33
Herbe haute et sèche	0.33
Sol nu sans végétation	0.25
Brique	0.20
Cultures	0.15 à 0.25
Verre transparent :	
☒ angle zénithal <40°	0.09
☒ angle zénithal 40°<α<80°	à 0.52
Sable sec	0.18
Gravier (vrac)	0.18
Bardeau d'asphalte	Noir : 0.05 Blanc : 0.21
Sol sombre	0.15
Asphalte foncé	0.07
Lac (mais il faut beaucoup d'énergie pour chauffer l'eau).	0.02

MZ : Edward Mazria. *Le guide de l'énergie solaire passive*, Parenthèses 1979. P 272-277

Proportion de réflectivité de la chaleur (albédo)

Type de pavage	% de réflectivité	T°
Pavage normal	15	46
Pavage avec enduit pâle	51	31

Tableau réalisé avec les données du Heat Island Group (2000)

La moyenne journalière des températures de surface se situait entre 36,4 et 31,6 C° pour les revêtements **orange**s standards et oranges pigmentées et 49,4 et 40,9 C° pour les revêtements noirs standards et le noir pigmenté, respectivement.

La rugosité des surfaces des matériaux diminue fortement la réflexion de ces derniers. (Berdahl, Bretz et Coll. 1997) ;

Certains pigments (l'oxyde de chrome, l'hématite) jouent un rôle très important dans l'augmentation de la réflexion solaire des matériaux, notamment ceux qui sont considérés comme des matériaux

chauds (bardeaux d'asphaltes, les peintures noires, tuiles de couleurs sombres). (*Berdahl, Akbari, Levinson, Miller, 2008*)

- **Les façades exposées au rayonnement solaire interviennent aussi dans la formation des ICU**

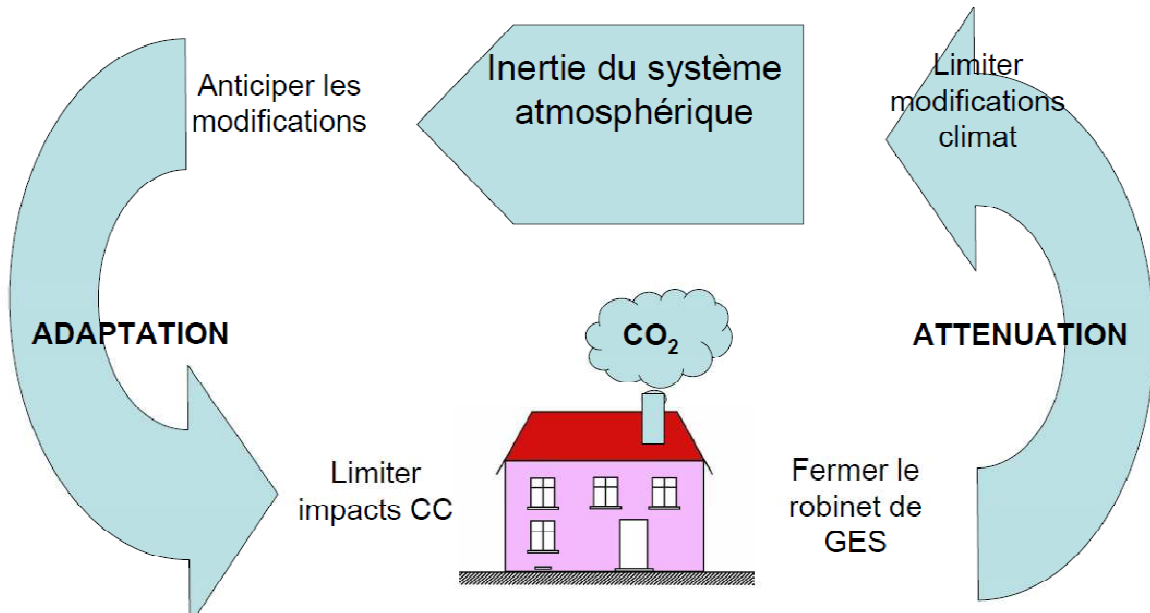
Des chercheurs (*Akira Hoyano et Coll. 1997*) ont constaté que les bâtiments en béton armé développent une forte corrélation avec le phénomène d'îlot de chaleur. D'après les auteurs cela peut être dû aux caractéristiques du revêtement des structures bâties.

D'autre part, la faible corrélation des bâtiments en structure de bois avec le même phénomène et due probablement à d'autres paramètres qui n'ont pas été identifiées par les chercheurs.

4.2 Les éléments régulateurs de l'ICU

4.2.1 A l'échelle des agglomérations

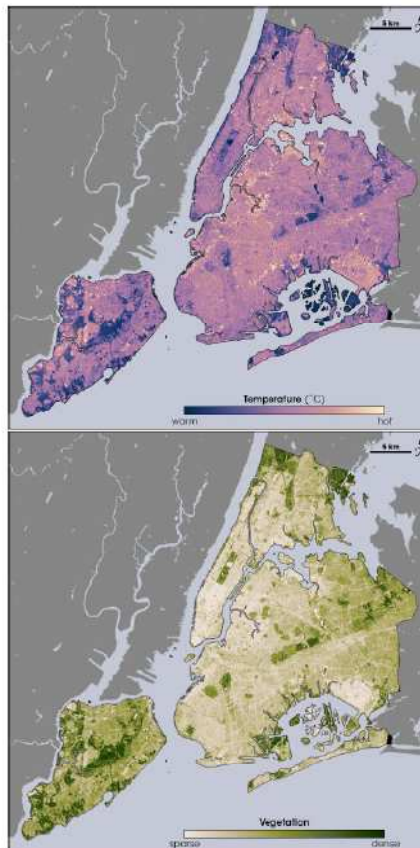
- La stratégie



- **L'action**

Dans les villes, les zones froides des images infrarouges correspondent aux zones vertes et arborées.

- **Image infra rouge d'une journée chaude - New York**
- **NASA - Landsat 7. Localisation de la végétation dans New-York**



Le groupe Descartes a démontré que des aménagements réalistes, mais de grandes envergures (espaces de débordement des rivières, créations de nouveaux lacs, reboisement massifs) peuvent avoir un impact favorable sur le micro-climat local

Agriculture



Forêts



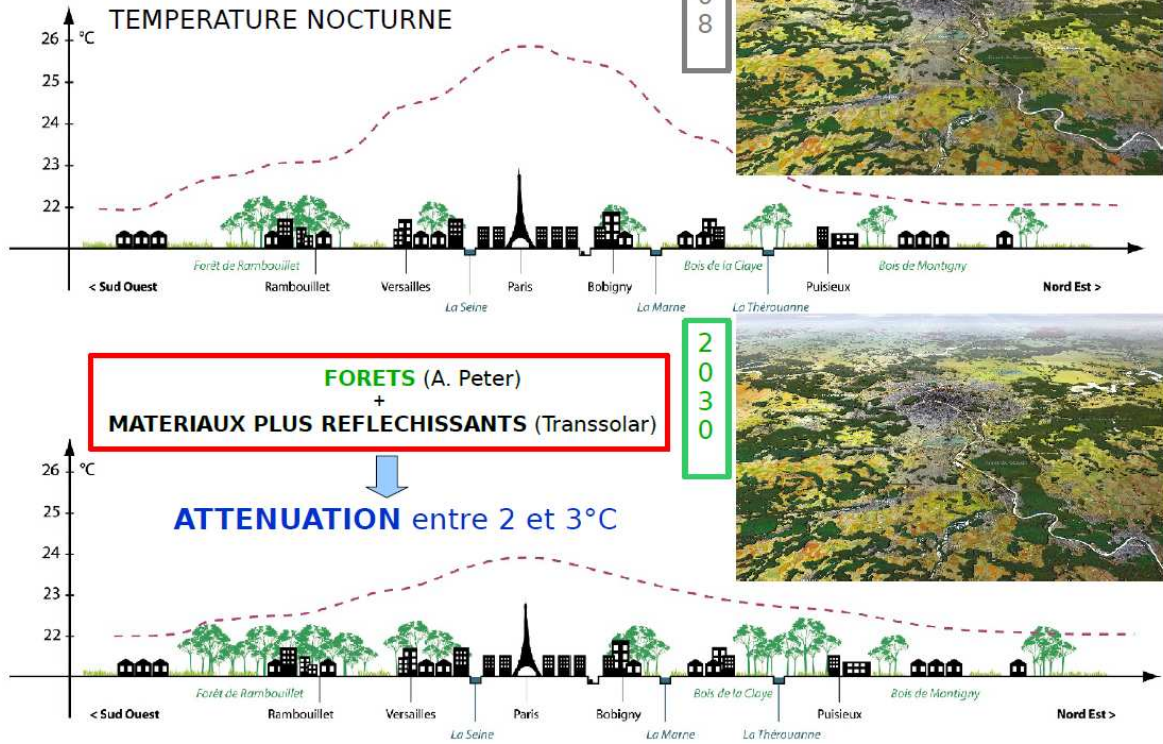
A l'échelle régionale (Grand Paris), les simulations ont montré que le reboisement à grande échelle en milieu urbain peut être tout aussi efficace dans la réduction de la température de l'air que l'utilisation de matériaux de haut albédo. Les parcs urbains réduisent eux aussi la température dans les zones environnantes, jusqu'à 2,5 °C plus froides que les zones où il n'existe pas de parc.

Lacs



- -2°C : GRAND PAYSAGE ET CONFORT MÉTROPOLITAIN

Le Grand Pari de l'agglomération Parisienne



Les scénarios d'évolution de Paris à horizon 2030 conduiraient à un impact météo significatif, au moins en période de canicule : réduction de l'îlot de chaleur de 2 à 3°C.

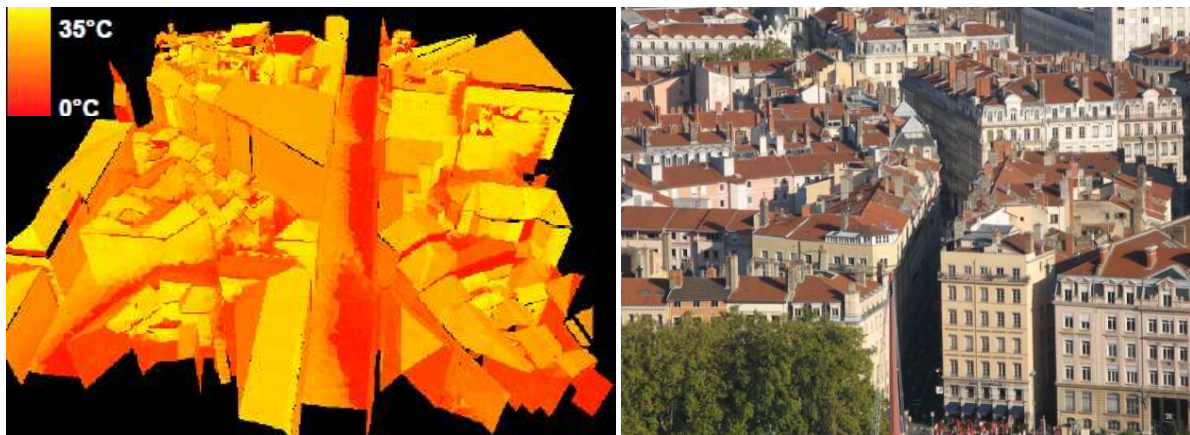
4.2.3 A l'échelle d'un quartier, d'une rue et de l'espace public

L'albédo d'une ville ou d'un quartier dépend de la forme du tissu urbain et de la nature des matériaux de revêtements utilisés.

- L'albédo diminue quand les irrégularités augmentent, (plus marqué en hiver).
- L'hétérogénéité des hauteurs fait également diminuer l'albédo
- L'albédo augmente avec l'angle solaire zénithal.
- Il y a une variation saisonnière de l'albédo moyen calculé sur une journée.

La forme des toits et leur orientation influencent également la quantité de rayonnement absorbée par le bâtiment.

Ecarts de température dans une rue étroite



Plus la compacité augmente, plus les rayons solaires incidents ne subissent des réflexions notamment dans les rues. Ce constat augmente le piégeage et l'absorption par les parois, diminuant ainsi l'albédo.

Cependant, si la compacité est grande et le tissu urbain présente des irrégularités, les valeurs d'albédo sont réduites. Les variations de la hauteur des formes urbaines (rugosité) jouent un rôle très important dans la diminution de l'albédo. L'albédo total d'une forme urbaine ne dépend pas seulement des coefficients de réflexion des matériaux mais aussi de l'agencement géométrique de celle-ci.

L'albédo augmente avec l'angle solaire zénithal. L'orientation E-W présente de bons résultats notamment entre 11 et 14 heures ou les chercheurs ont enregistré les meilleurs résultats du confort thermique. (Fazia Ali- Toudert, Helmut Mayer, 2006)

La protection des vents	H/W = 0.65 H/W =0.4	<ul style="list-style-type: none"> • Apporte une bonne protection du vent • Induit une faible interférence d'écoulements
Dispersion des polluants	H/W =0.65	<ul style="list-style-type: none"> • Induit une dispersion convenable des polluants
L'accessibilité solaire	H/W =0.5-2.0 H/W =0.58	<ul style="list-style-type: none"> • L'absorption solaire est de 13-27% lorsque albédo de surface est égale a 0.4 • Est appropriée pour la latitude 45°
Gain de chaleur	H/W =0.4 H/W =0.7 H/W =1.0	<ul style="list-style-type: none"> • Gain de chaleur est de 1/3(par rapport à une situation de surface dégagée) • Gain de chaleur est de 1/2 • Gain de chaleur est de 2/3

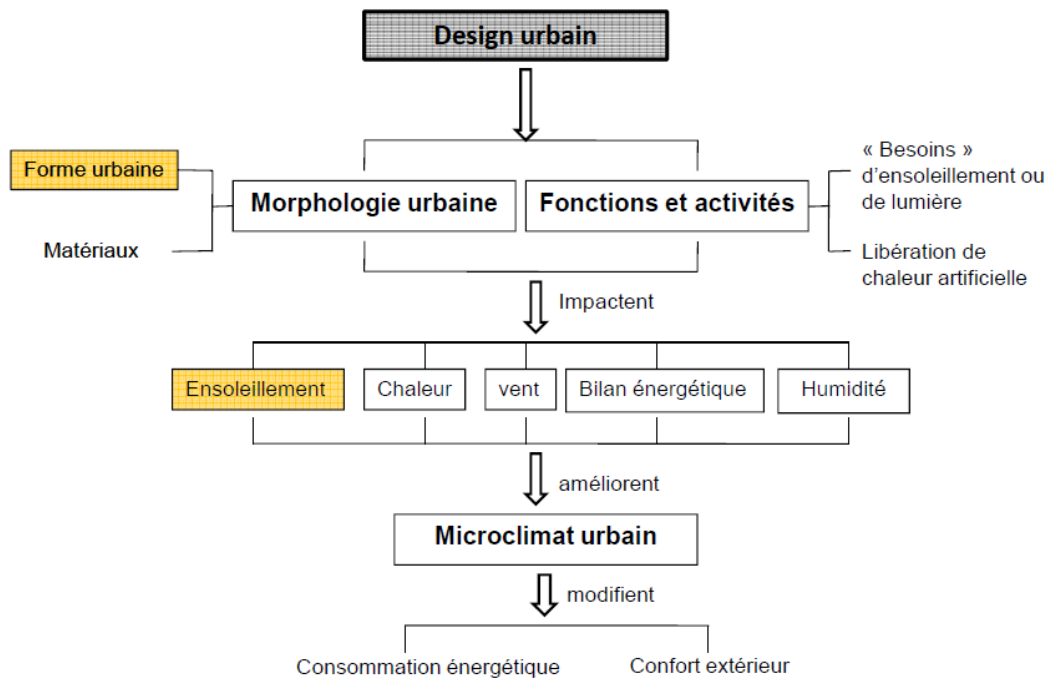
Tableau de synthèse des relations existant entre proportion de la rue canyon et intensité d'îlot de chaleur. La rue canyon étudiée est semi-infinie, se trouve à la latitude de 45° nord orienté nord sud.

(Source Tiraoui.)

L'aménagement urbain des bâtiments ainsi que le dimensionnement des percements jouent un rôle très important sur le pourcentage de ciel visible des îlots. Une organisation serrées et fractionnées des tissus, voit moins de ciel qu'une organisation ouverte et aérée.

L'étude des différents îlots du quartier du Confluent réalisés par le CERMA de Nantes montre que suivant la période de l'année les surfaces verticales et horizontales d'une géométrie jouent un rôle très important dans la réflexion des rayons solaire. Pendant la période estivale, ce sont les surfaces horizontales est notamment les toitures qui participent pleinement dans la réflexion des rayons solaires. Ultérieurement et dans la période hivernale, ce sont les façades verticales qui reprennent ce rôle et participent le plus au processus de la réflexion solaire.

Afin de mieux exploiter le phénomène d'îlot de chaleur pendant la période hivernale et notamment dans la réduction de la consommation d'énergie. Il est recommandable d'utiliser des revêtements peu réfléchissants pour les façades des bâtiments avec des albédos entre 0.3 et 0.45, afin de bénéficier de l'énergie solaire pour le réchauffement des locaux, et utiliser des matériaux a fort pouvoir de réflexion pour les toitures, afin d'éviter les surchauffes des bâtiments pendant la période estivale. Le choix des matériaux pour le revêtement des bâtiments et un facteur primordial dans ce système. Il dépend beaucoup de l'orientation de ces matériaux par rapport au soleil.



Source : Yuan Huang, Agence d'urbanisme de Lyon, Architecte /urbaniste de Green Architecture Research Center (GARC), Architectural and Urban Planning Design & Research Institute (AUPDRI), HUST. Doctorante du CERMA CNRS 1563 (Nantes) et Green Architecture Research Center, HUST. Thèse sur la méthodologie de conception de quartier urbain pour la meilleure l'efficacité énergétique des bâtiments.

La présence d'espaces verts dans les centres urbains est capable, par le biais de processus hydrométéorologiques, de limiter localement le réchauffement de l'air. L'étude de l'îlot de chaleur urbain de la ville de Sfax (Salem Dahech, Gérard Beltrando et Sylvain Bigot - *Utilisation des données NOAA-AVHRR dans l'étude de la brise thermique et de l'îlot de chaleur*) a mis en évidence l'impact de la géométrie des bâtiments et des matériaux de constructions sur les températures de l'air.

Penser la morphologie urbaine dans cette perspective ... et en fonction de l'aérogologie locale ?

Dans les aménagements futurs, les chercheurs préconisaient de **réserver des surfaces beaucoup plus importantes aux espaces verts, mais aussi d'éviter les structures fermées et peu aérées ainsi que les bâtiments volumineux favorisant l'accumulation d'énergie thermique**. Les urbanistes ont donc prévu des rues relativement larges et dirigées dans le sens du vent dominant.

- **Augmenter la présence du végétal en ville**

La végétation agit par :

- absorption du rayonnement par la masse végétale qui est dissipé en chaleur latente (effet indirect).
- écran au rayonnement solaire et au vent (effet direct positif ou négatif).
- augmentation la charge latente des systèmes d'air conditionné par leur production d'humidité par évapotranspiration (effet négatif).

Cœur d'îlot privatif végétalisé (puits de fraîcheur)

et toit terrasse sombre et chaud (à albédo moyen) à Barcelone.



Photo PM, Agence d'Urbanisme de Lyon

Outre qu'un arbre intercepte une partie du rayonnement solaire, procurant une ombre protectrice, il a aussi tendance à aligner sa température sur celle de l'air environnant. Ce mécanisme de régulation thermique est loin d'être négligeable : un arbre feuillu peut émettre jusqu'à 400 litres d'eau par jour, ce qui représente une puissance de refroidissement équivalente à celle de 5 climatiseurs pendant 20 heures en climat chaud et sec.

Les parkings enherbés

D'autres nouveaux types de revêtements de sol (dalles végétales) utilisé notamment comme couverture des parkings présentent de nombreuses satisfactions avec un albédo assez élevé assimilable à celui des toitures jardins et constituent un appui au rafraîchissement de la température des chaussées. Elles constituent une véritable alternative aux autres matériaux conventionnels comme le bitume et la pierre qui participent à l'accentuation du phénomène d'îlot de chaleur urbain. **Les mesures de terrain montrent que la température maximale de la chaussée avec peinture est d'environ 15 C° inférieure à celle de la chaussée avec asphalté conventionnel.**

- La végétation comme écran estival

	ombre	évapo-transpiration (biomasse)
 grand arbre (20 à 30 m)	+++	+++++
 grand conifère (20 à 30 m)	++	++++
 arbrisseau (5 à 10 m)	++	++++
 petit conifère (5 à 7 m))	+	+++
 arbuste (1 à 5 m)	+	+++
 couvre-sol (0,1 à 2 m) (graminées, vivaces, prairies)	○	++
 gazon	○	+

Types de plantation et efficacité contre la chaleur
© Fauteux et associés (2010)

La thermographie d'un arbre ensoleillé montre que la température moyenne de l'arbre varie de 27 à 29°C, alors que la température de l'air est 28°C. Dans les régions chaudes et humides, **l'effet de rafraîchissement peut atteindre 3 à 6°C dans la journée**, dans le cas d'arbres « adultes ».

L'estimation des économies d'énergie liées à l'utilisation de la végétation est principalement abordée par le biais de la simulation. En 2004, des chercheurs (Ip *et coll.*, 2004) ont mis en évidence une

baisse de température intérieure de 4 à 6° au plus fort de l'été avec une légère augmentation de l'humidité dans la pièce pour un écran végétal associé à une façade légère.

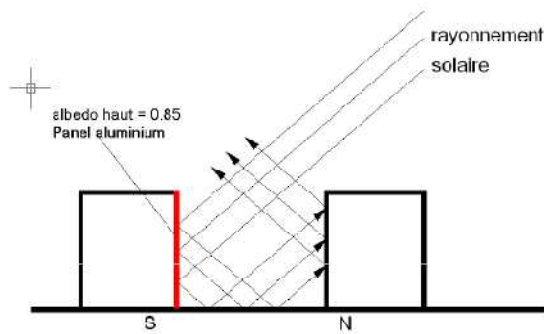
Masquer les apports solaires estivaux et les augmenter l'hiver

Les matériaux réfléchifs et la végétation (feuilles persistantes ou caduques) peuvent être combinés pour gérer les apports solaires en fonction de la saison.

Hypothèse d'amélioration d'ensoleillement (indirect)

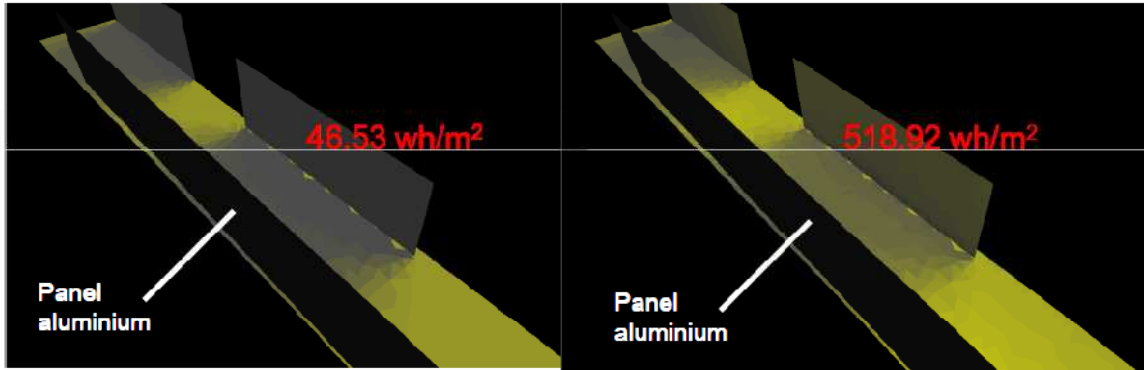
- Matériaux de la surface; forme urbaine

Utilisation de l'**inter-réflexion** d'énergie solaire --- améliorer l'énergie solaire absorbée au nord en hiver



Matériaux de surface
Utilisation du phénomène de l'inter-réflexion d'énergie solaire

Sans obstacle solaire --- énergie solaire absorbée = **132.75 wh/m²** par



Énergie solaire avant réflexion

Énergie solaire après réflexion

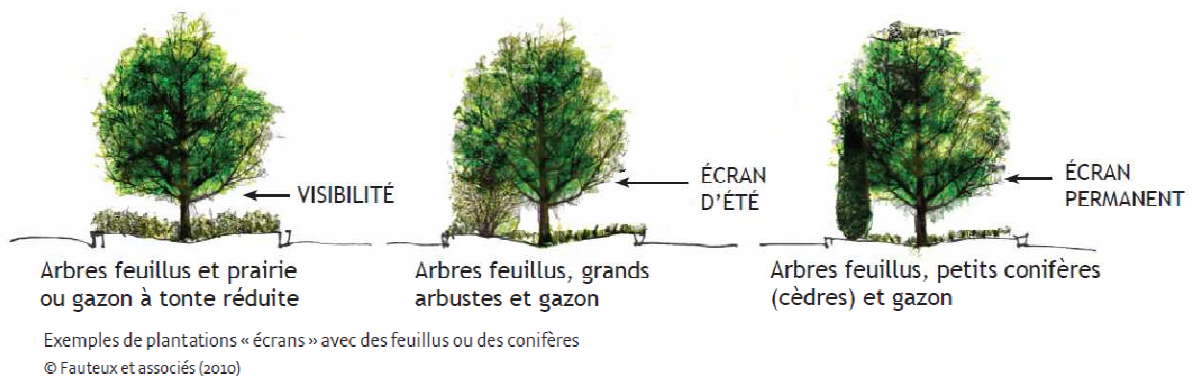
En théorie, l'apport énergétique est multiplié par **10**.

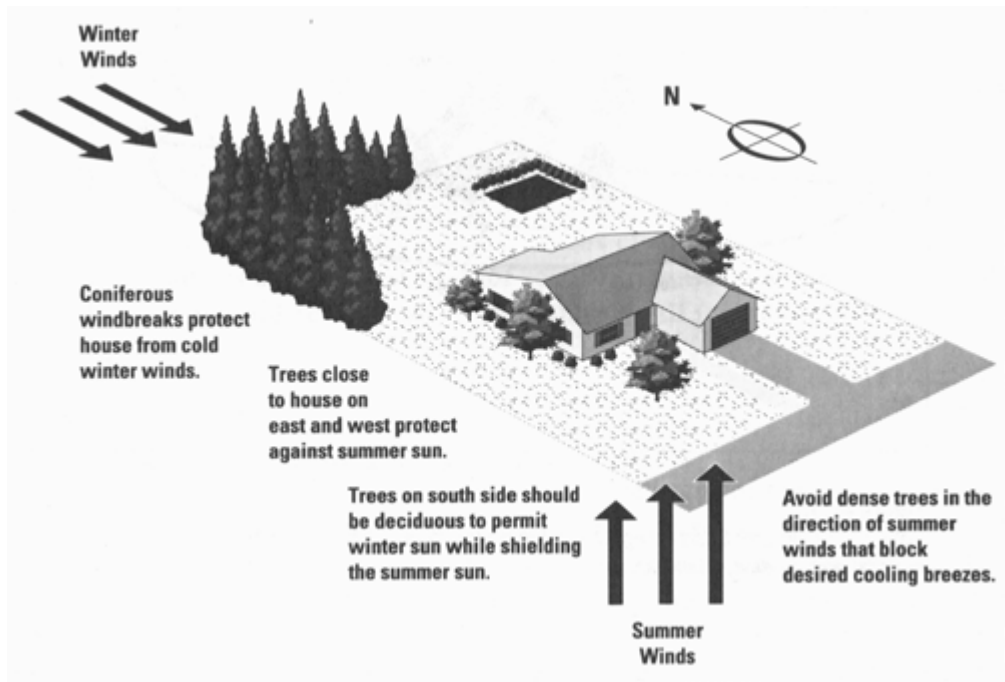
Ciel clair (type CIE)

Jour de référence : 21 décembre

Source : Yuan Huang, Agence d'urbanisme de Lyon, Architecte /urbaniste de Green Architecture Research Center (GARC), Architectural and Urban Planning Design & Research Institute (AUPDRI), HUST. Doctorante du CERMA CNRS 1563 (Nantes) et Green Architecture Research Center, HUST. Thèse sur la méthodologie de conception de quartier urbain pour la meilleure l'efficacité énergétique des bâtiments.

La façade nord d'un bâtiment peut bénéficier du pouvoir réflexif de la façade sud qui lui fait face en hiver à condition de masquer les apports de chaleur par l'implantation de végétation à feuillage caduc, jouant le rôle d'écran en été.





Sources : Heat Island Group

Des marges de manœuvre sur les espaces privés

Sur l'espace public, nombreux sont les lieux d'intervention intéressants pour effectuer du verdissement.

Mais l'incitation doit porter également sur les parties privées de la ville pour une action de meilleure ampleur. Les lieux d'intervention des propriétaires sont infinis :

- 5 Grand stationnement minéralisé
- 6 Terrain minéralisé
- 7 Terrain gazonné inutilisé
- 8 Les immeubles sont souvent ceinturés de terrains gazonnés ou asphaltés offrant un potentiel de verdissement
- 9 Marges de recul gazonnées ou pavées le long des rues
- 10 Terre-pleins
- 11 Bandes gazonnées ou minéralisées
- 12 Îlots gazonnés
- 13 Stationnements et cours d'école
- 14 Toitures
- 15 Murs ...

Végétalisation	<ul style="list-style-type: none">• Planter des arbres et des arbustes dans les zones gazonnées existantes (îlots, terre-pleins, bandes gazonnées, etc.) ou dans des endroits asphaltés non utilisés• Aménager des bandes vertes avec plantations ou système de rétention (bassins, tranchées, fossés ou jardins de pluie qui permettent aux végétaux d'être mieux approvisionnés en eau).• Aménager des toitures vertes• Verdir avec des plantes grimpantes directement sur les murs ou sur des structures de support.
----------------	--

Jardin congrégation religieuse puits de fraîcheur (Fourvière)

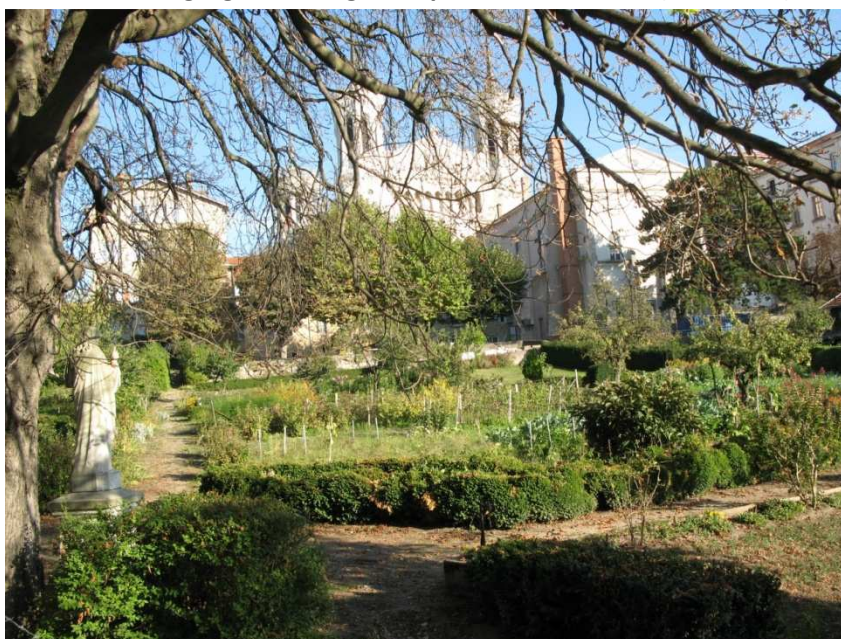


Photo PM, Agence d'urbanisme de Lyon

- **Augmenter la présence de l'eau sur l'espace public**

Les photos thermographiques aériennes ou satellitaires montrent bien ce phénomène. Des chercheurs (*Taha et Coll. 1997*) ont démontré que les ruisseaux et les bassins d'eau provoquent la diminution de l'albédo.

- **Le rôle régulateur de l'eau de surface dans la ville : la Saône**





Bandes végétalisées aménagées sur une rue
© Portland Green Streets tour map (2007)

Le quartier très minéral de la Défense à Paris



Photo PM Agence d'Urbanisme de Lyon

Berlin, de vastes surfaces en eau sur les espaces publics minéralisés



L'eau comme lieu d'agrément dans un quartier collectif dense de Berlin.



Photo PM Agence d'Urbanisme de Lyon

Brumisateurs sur rue Palm's Spring (Etats-Unis)



Berlin : « espace public en eau »



Photo PM Agence d'Urbanisme de Lyon

- **Créer des ombrages temporaires**

Ombre sur l'espace public en structure souple



Photo JPB AURG

- **Modifier la nature des matériaux et leurs couleurs**

Matériaux	<p>Utiliser des matériaux réfléchissants appliqués sur les murs, les toits des édifices ou certaines surfaces asphaltées. De façon générale, plus un matériau est de couleur pâle, plus il réfléchit les rayons du soleil.</p> <ul style="list-style-type: none">•Changer le gravier des toitures par du gravier blanc•Opter pour des membranes élastomères blanches sur les toitures•Appliquer un enduit de couleur pâle sur les toitures et sur les surfaces asphaltées•Changer les surfaces asphaltées par du béton ou des pavés de couleur pâle
-----------	--

Pueblo Blanco andalous



Médina de l'oasis de Tozeur (Tunisie)



Photo internet

- Eviter l'asphalte

Mesures des températures de revêtements de rues avec différents albédos.

FRESH ASPHALT
REFLECTIVITY: 5%
TEMPERATURE: 123°F

AGED ASPHALT
REFLECTIVITY: 10%
TEMPERATURE: 115°F

**PROTOTYPE
ASPHALT COATING**
REFLECTIVITY: 50%
TEMPERATURE: 90°F



The Heat Island Group's

L'exemple du guide « Contre les îlots de chaleur Urbains par le verdissement, pour les propriétaires privés » de Montréal

Le Conseil régional de l'environnement de Montréal a réalisé un guide sur le verdissement, pour les propriétaires institutionnels, commerciaux et industriels pour « Contre les îlots de chaleur Urbains). Le CRE-Montréal agit principalement sur le territoire de l'île de Montréal. Sa mission première consiste. L'île de Montréal, comme bien des grandes métropoles dans le monde, doit faire face aujourd'hui à des enjeux majeurs d'environnement et d'aménagement du territoire, tels que la place des espaces verts en ville et la problématique des îlots de chaleur urbains.

Toutefois, il est selon le CRE, possible de relever ces défis grâce à la mise en oeuvre de différentes mesures. Les propriétaires et gestionnaire de terrains et de bâtiments, sont sollicités pour participer à l'effort de la collectivité montréalaise pour améliorer les aménagements en intégrant le verdissement ou des matériaux réfléchissants. Ce guide se veut un outil pour vous faciliter la mise en oeuvre d'actions concrètes pour y parvenir.

Les informations techniques qui y sont contenues ont été tirées de diverses sources; ville de Montréal, Hydro-Québec, Evergreen, ville de Portland, ville de Chicago, Fauteux et associés architectes paysagistes, etc. Vous pourrez trouver plus de détails dans la liste des références et des ressources disponibles.



L'îlot de fraîcheur St-Stanislas

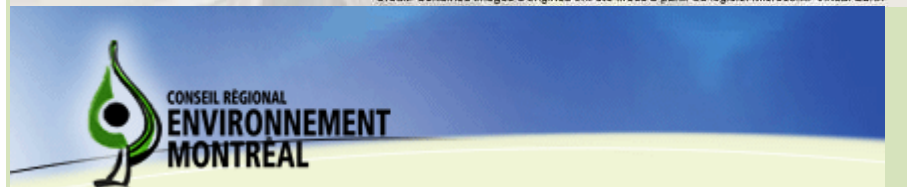
Vitrine des diverses possibilités pour la création d'un îlot de fraîcheur

PARCOURS VIRTUEL

- 01** terrains des institutions fosses de plantation
- 02** arbres majestueux arbres fruitiers
- 03** bandes de propriété publique longeant le trottoir arbres publics
- 04** toits (réfléchissants) surfaces gazonnées
- 05** terrains des lieux d'habitation
- 06** balcons, escaliers, carrés d'arbres
- 07** terrains scolaires revêtements imperméables (asphalte et béton)
- 08** ruelles
- 09** toits (verts) stationnements privés
- 10** chaussée publique
- 11** grands stationnements
- 12** commerces et industries

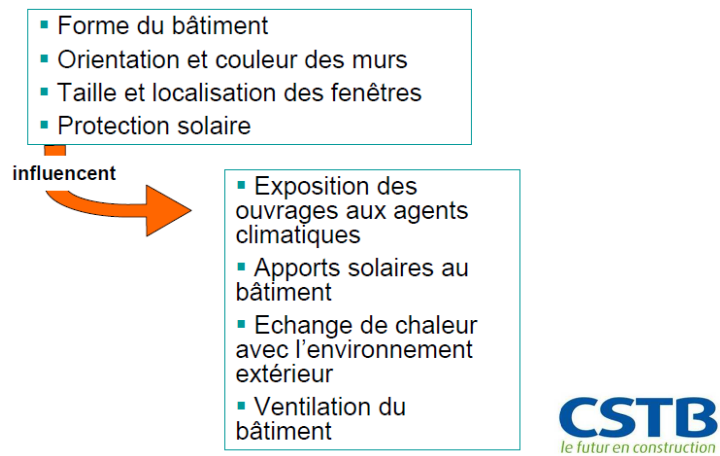


* Crédit: Certaines images d'origines ont été tirées à partir du logiciel Microsoft® Virtual Earth™



Le secteur de l'îlot de fraîcheur St-Stanislas comprend plusieurs projets exemplaires de verdissement et d'aménagement utilisant des matériaux réfléchissants et perméables dans le but de lutter contre les îlots de chaleur urbains, le réchauffement climatique et la pollution atmosphérique. Pour y parvenir, diverses mesures ont été mises en place visant, d'une part à maximiser la présence de verdure tant sur les terrains privés (cours avant et arrière) que sur l'espace public (en bordure de trottoir et dans les ruelles) et d'autre part, à présenter des projets exemplaires d'aménagement qui utilisent des matériaux réfléchissants et perméables.

4.2.3 A l'échelle du bâtiment



Le siège de la banque Chinatrust (Taïwan) prend en compte l'aérodologie locale



Source : Enerzine

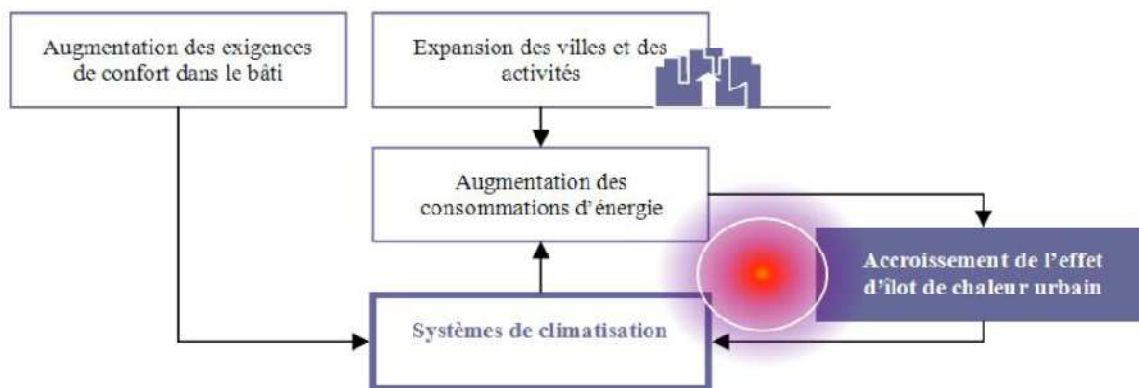
L'emplacement du site et les conditions climatiques permettent d'optimiser la mise en place d'un chauffage et d'un refroidissement passif. Afin de réduire le ruissellement des eaux pluviales et les effets d'un îlot de chaleur, les passerelles et les toits sont couverts de jardins suspendus. La façade a été conçue pour maximiser la lumière du jour et de réduire de fait l'énergie nécessaire pour l'éclairage intérieur.

Impact sur la consommation énergétique des bâtiments

Les maxima de température augmentent = augmentation des niveaux de puissance de crête (Etude sur six villes américaines : le pic de puissance appelée augmente de 2 à 4% pour une augmentation de la température maximum de 1°C, au-delà d'un seuil de 15-20°C).

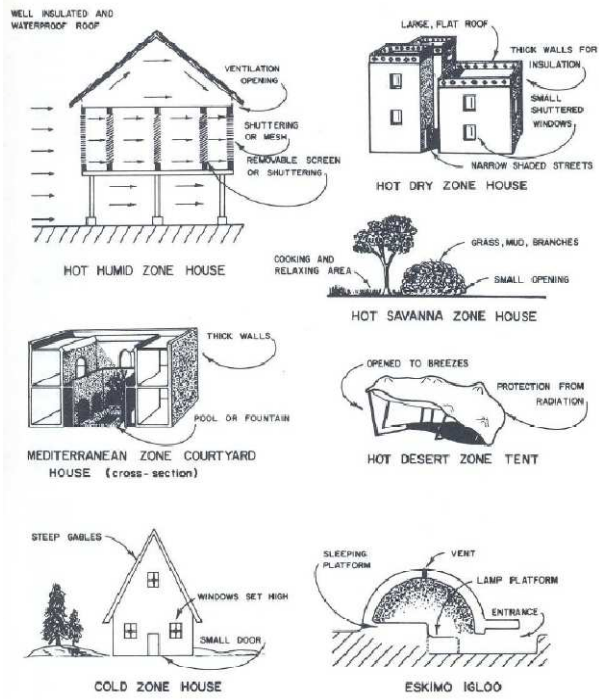
- ⇒ baisses éventuelles de tension sur les réseaux électriques,
- ⇒ nécessité de surdimensionner les systèmes de production par rapport aux consommations courantes.

Les dissipations thermiques des bâtiments participent de façon importante à l'amplification du réchauffement urbain. La densification des villes et l'augmentation générale des consommations énergétiques font augmenter l'énergie dissipée, et les systèmes de climatisation représentent une part significative d'autant que leur charge augmente avec le réchauffement.



Remarque : L'ICU n'est pas pris en compte par les concepteurs. La pratique courante du génie climatique est d'appliquer le calcul des charges climatiques à partir des données météorologiques de référence relevées dans la ville ... la plupart du temps en dehors des centres urbains.

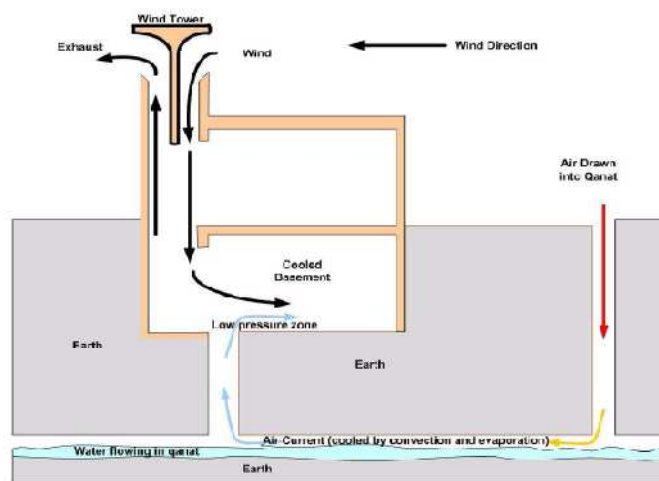
Mais du fait de l'îlot de chaleur, la température extérieure et donc les charges climatiques peuvent être fortement différentes sur le site de la construction.



Source : Griffiths (1976)

- La climatisation naturelle

En Perse, « bâgdîr » (la tour à vent)



- toitures réfléchives

Bouclier de chaleur DERBIBRITE NT



Source internet (batiweb)

Les toitures couvertes par des panneaux photovoltaïques comme option d'atténuation de la température

Des recherches ont été menées par **(Golden et Coll. 2007)** Le but de ces investigations est d'examiner si l'utilisation des panneaux photovoltaïques (PV) constitue un moyen efficace de couverture dans les parcs de stationnement, pour la diminution de la température des surfaces de la chaussée, à la fois pendant le jour et la nuit. Un projet de recherche a été entrepris pendant l'été de 2004 pour évaluer deux stratégies de diminution de la température des surfaces de chaussée de stationnement dans la région de Phoenix, Arizona, U.S.A. La première stratégie d'atténuation consiste à étudier l'effet de la végétation urbaine sur la température des pavés. La deuxième comprend l'utilisation des panneaux photovoltaïques comme une possibilité viable et ingénieuse comme option d'atténuation de la température dans les parkings.

Les résultats de cette recherche montre que les surfaces protégées par un auvent de PV réalisent une réduction de la température de surface de (13,2 C°) par rapport aux surfaces adjacentes entièrement exposées alors que les surface couvertes de végétation urbaine permettent une réduction maximale de (6,2C°) par rapport aux surfaces mitoyennes exposées.

L'utilisation de matériaux de toiture de fort albédo a un effet direct et un effet indirect sur la consommation énergétique nécessaire au rafraîchissement des bâtiments et notamment sur la température d'air extérieure (ICU) à laquelle est soumis le bâtiment (convection, ventilation).

Des études expérimentales et numériques américaines ont montré l'efficacité de l'utilisation de matériaux réfléchifs pour les toitures. Les économies sur les consommations d'énergie de rafraîchissement de ces bâtiments varient entre 15 et 46%. Quand la température extérieure est inférieure à la température intérieure, l'isolation retarde la perte de chaleur par l'enveloppe.



Source : CSTB

Les toitures végétalisées

Les toitures végétales -réduisent les fluctuations des températures de surface du toit et en augmentent la capacité thermique, -contribuent au rafraîchissement des espaces intérieurs en été et à la réduction de l'énergie nécessaire à leur chauffage en hiver. (Niachou *et coll.*, 2001)

De nombreux chercheurs (**Takakura et Coll. 2000**, **Matsumoto et Coll. 2000**), se sont concentrés sur la technologie des toits verts pour réduire l'effet d'îlot de chaleur urbain, et réduire ainsi la charge de refroidissement des bâtiments. Les résultats de leur recherche montrent bien que l'évapotranspiration des toits plantés de façon satisfaisante peut réduire la température de surface ainsi que les températures ambiantes environnantes et limiter le flux de chaleur dans les bâtiments, et donc diminuer la charge de climatisation. Le suivi des données météorologiques et d'autres moyens, c'est-à-dire la simulation informatique, ont dévoilé qu'après l'adoption d'un système de toit vert, le microclimat autour des bâtiments a été modifié et amélioré.

- La température de surface des toitures végétales varie en fonction des différents types de végétation. Les températures les plus basses ont été mesurées dans les espaces qui sont couverts par une végétation épaisse de couleur verte foncée ainsi que par les végétations qui poussent verticalement. La végétation rouge et le sol nu ont eux aussi donné des bons résultats.
- Toujours dans la période d'été et dans le même lieu d'expérimentation, les chercheurs ont constaté que la température de l'air mesurée dans les espaces intérieurs couverts par des toitures végétales ne dépasse pas la valeur de 30 C°.

Le sol des toitures vertes se compose généralement de trois éléments: des agrégées Minéraux (pierre ponce, schiste), le compost et le sable. La composition varie suivant la proportion, le type

d'agrégat, le type du compost, mais le consensus général est que la composition des sols varie selon les régions et le design des toitures vertes.

La couleur, la densité de la végétation ainsi que la composition des toitures jardins sont des facteurs très importants dans la réflexion de ces toitures, les recherches ont montré que les sols secs à base de pierre ponce, de sable et de faible pourcentage de compost ainsi que les toitures avec des végétations épaisses de couleurs vertes foncées présentent les meilleurs résultats. (Niachou et Coll. 2001), (Sailor et Coll. 2008) ;

Les toitures couvertes par des matériaux poreux tels que les sables schistes siliceux ont une capacité de refroidissement comparable à celle des toitures vertes de plante ou de sedum. (Surakha, Wanphen et Coll 2008) ;

Bassins d'eau en toiture

Des chercheurs ont proposés en 2004 un dispositif de bassin constitué de sacs de toile sur une grille de polystyrène qui flotte sur l'eau. Les sacs interceptent les apports solaires qu'ils dissipent, ainsi que les flux provenant du bâtiment, en chaleur latente due à l'évaporation de l'eau, convection et rayonnement infrarouge.

Ce système est plus performant qu'un bassin avec une isolation amovible, du fait de la stratification thermique qui se produit dans l'eau.

Pour les bâtiments étudiés, les auteurs trouvent une épaisseur d'eau optimale de 20cm. Le dispositif permet d'améliorer la stabilité des températures intérieures. (Tang et coll., 2004)

(Zhou et coll., 2004) ont étudié l'effet de **la vaporisation d'eau**, dans le cas de bâtiments avec une forte isolation thermique. Ils concluent que cette technique n'a pas grand intérêt du fait de la forte isolation et de la quantité d'eau qui doit être vaporisée.



Granada Palais Generalife- Photo PM

Les brise-soleils verticaux pour les façades

Le pourcentage du vitrage dans les façades des bâtiments fait diminuer fortement les valeurs d'albédo des surfaces. C'est un paramètre capital, les résultats ont montré que plus ce pourcentage est grand, plus les valeurs d'albédo sont modérées. Afin de limiter l'impact de ce paramètre sur la diminution de l'albédo, des brise-soleils verticaux pour les façades Sud et horizontales pour les façades Ouest constituent des solutions passives.

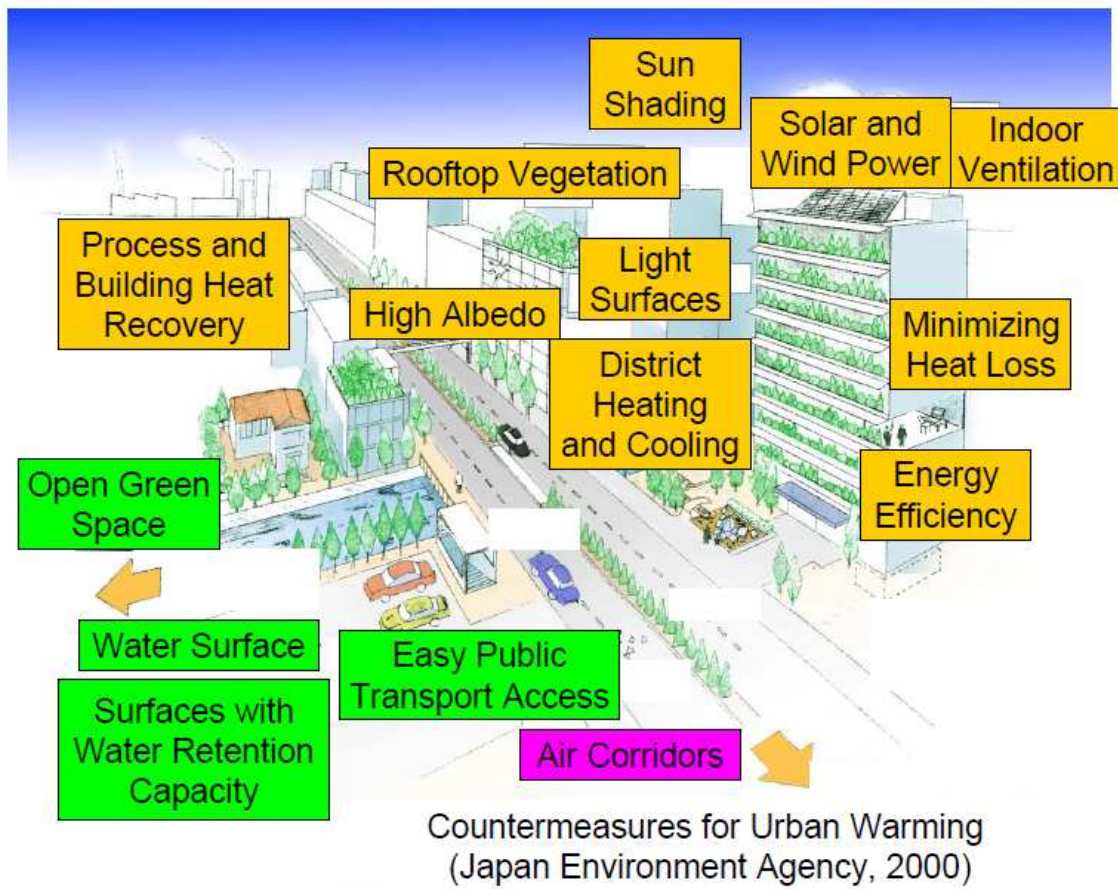
Les coefficients de réflexion des matériaux et notamment celles des toitures sont des facteurs décisifs et qui influent beaucoup sur l'augmentation ou la diminution de l'albédo des surfaces.

Murs végétalisés (Milan et Madrid)



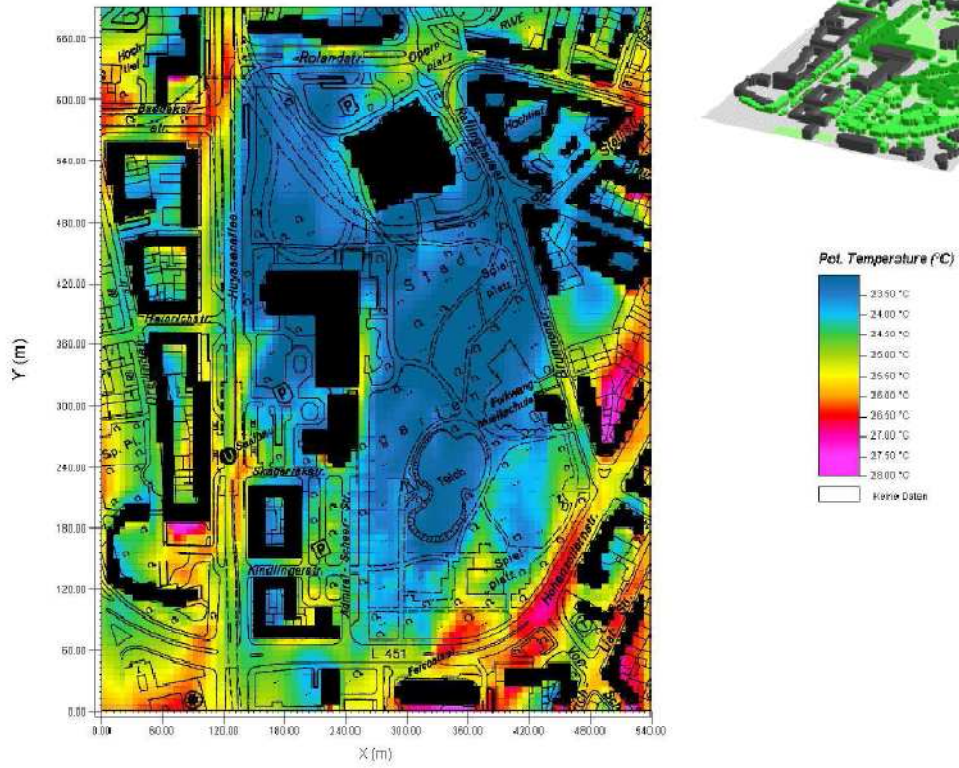
Photo PM Agence d'Urbanisme de Lyon

Synthèse



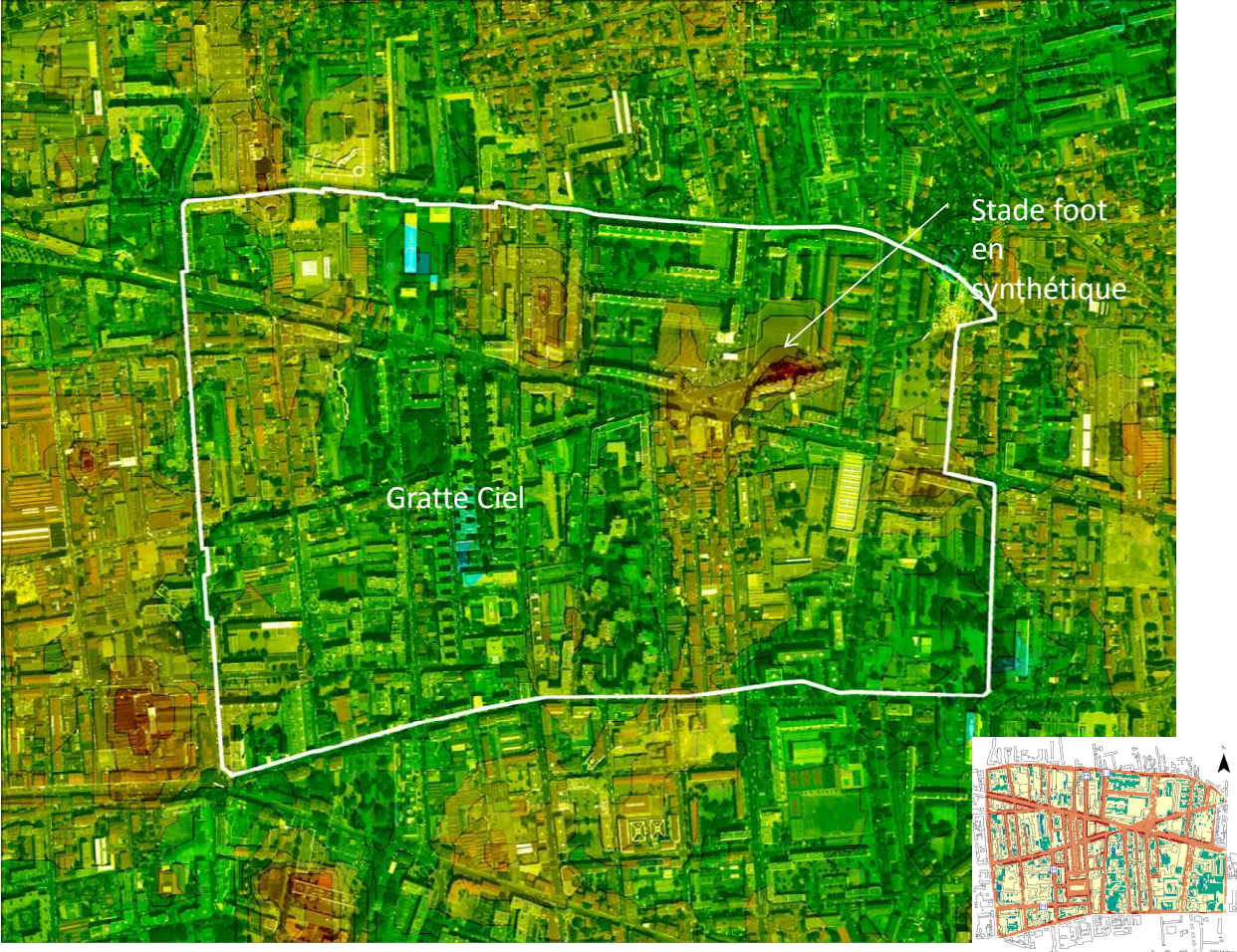
4.3 Analyse par secteurs tests.

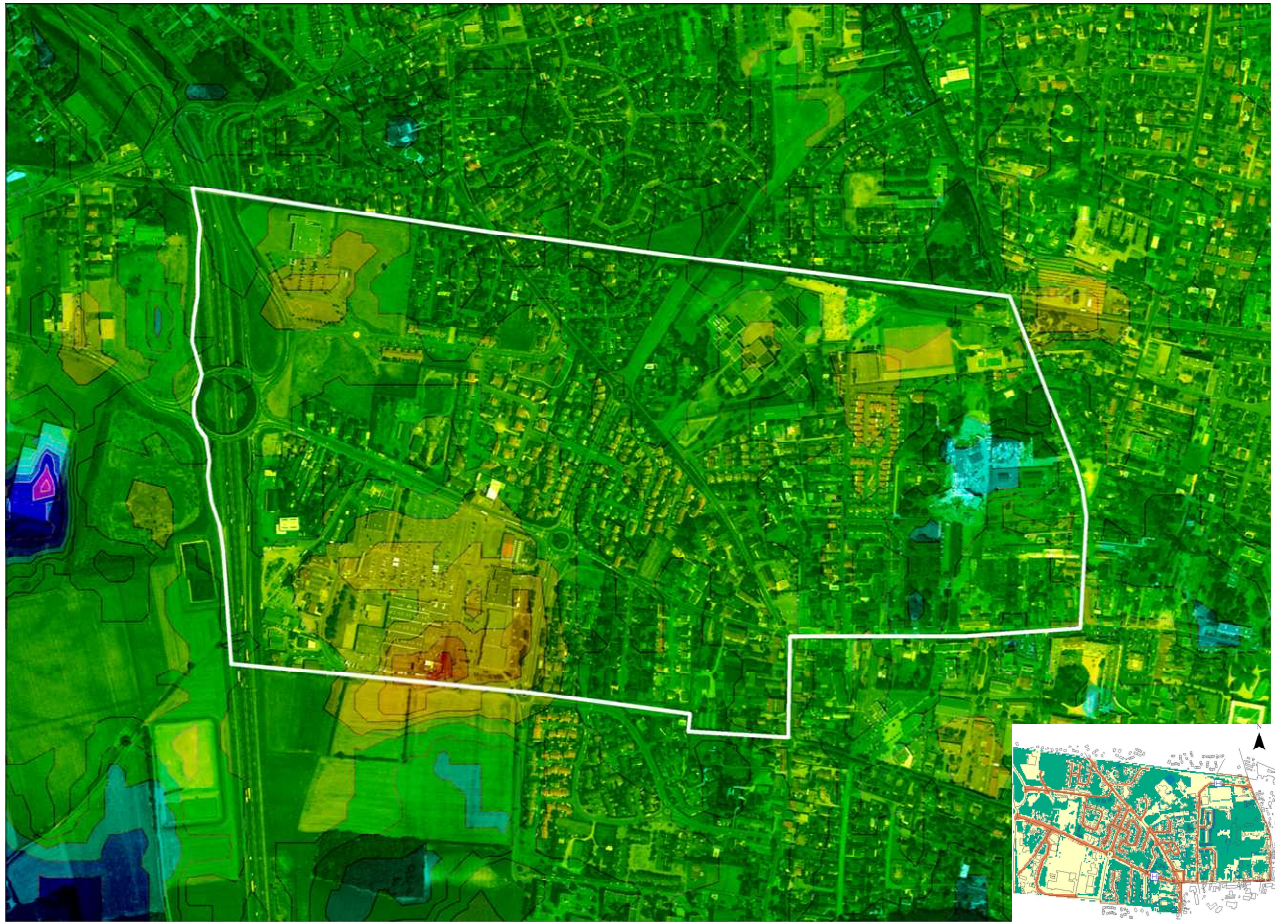
- L'îlot de chaleur urbain ---- l'îlot de fraîcheur urbain



The distribution of air temperature at 16:00 CET in the urban park area

Quartier des Gratte-ciel (Villeurbanne)







Presqu'île – Vieux Lyon



Usine Renault V.I (Vénissieux) et Parc de Parilly (Bron)



5. Actions en faveur de l'adaptation aux changements climatiques. Confort thermique – résorption des ICU.

A compléter

5.1 Echelle d'agglomération

Echelles	Eléments de diagnostic / indicateurs	Sites potentiels d'actions	Outils réglementaires/ Moyens d'actions	Type d'actions
Agglomération	<ul style="list-style-type: none"> - Cartographies de l'îlot de chaleur urbain - Carte et % de la densité d'espaces verts par commune - Carte et % de la densité d'espaces verts par habitant dans les zones agglomérées par communes - Carte et taux d'espaces artificialisés par commune - Carte des espaces présumés de fraîcheur : espaces naturels de frange ou internes aux zones agglomérées : forêts, cours d'eau, zones vertes, zones humides 	<ul style="list-style-type: none"> - Espaces d'accompagnement des grandes infrastructures routières ou tramway - Espaces d'accompagnement des grands itinéraires piétons/cycle - Zones d'activités d'intérêt communautaire - Sites naturels de loisirs - Forêts de coteaux 	<ul style="list-style-type: none"> - Continuités vertes du projet d'agglomération - PLU communautaire 	<ul style="list-style-type: none"> - Mise en accessibilité des espaces de fraîcheur - Constitution et renforcement des grands itinéraires verts - Végétalisation le long des axes de mobilités

5.2 Echelle communale

Echelles	Eléments de diagnostic / indicateurs	Sites potentiels d'actions	Outils réglementaires/ Moyens d'actions	Type d'actions
Commune	<ul style="list-style-type: none"> - Carte des équipements sensibles à l'inconfort thermique et pré-localisation des zones d'inconfort thermique (en zonage) - Carte des équipements sensibles à l'inconfort thermique et pré-localisation des zones d'inconfort thermique (emprise réelle du bâti et de la voirie) 	<ul style="list-style-type: none"> - Parcs, squares - Arbres d'alignements - espaces de circulation et de stationnement des piétons - zones d'activité - réseaux routiers - équipements publics 	<p>- Intégration au sein des PLU :</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Etablissement de règles de protection du patrimoine végétal existant. ◆ Etablissement d'exigences sur la végétalisation des espaces non bâtis. ◆ Incitation à la plantation d'arbres. ◆ Incitation à la mise en œuvre d'objectifs de haute qualité environnementale par les projets de construction en intégrant : orientation des façades et des surfaces extérieures ; dimensions et performance thermique des ouvertures et occultations ; isolation par l'extérieur ; toitures végétalisées... ◆ Inciter les projets de construction à la mise en œuvre d'objectifs en matière de choix de couleurs et types 	<p>Intégration au sein des PLU :</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Exigences sur la végétalisation des espaces non bâtis ◆ Protection des éléments végétaux existants ◆ Nombre d'arbre à planter selon le nombre de place de parking ◆ Plantations nouvelles ◆ Fixation d'un % de terre végétale à la parcelle ◆ Critère de choix dans les essences ◆ Fixation d'une épaisseur minimale de terre arable sur des aménagements ◆ Aspect extérieur des constructions : orientation des façades et des surfaces extérieures ; dimensions et performance thermique des ouvertures et

			<p>de matériaux des toitures et des revêtements de sol.</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Dans le règlement, travail sur les espaces publics (matériaux) et sur le bâti (couleurs, ...) <p>- Engagements au sein des PCL :</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Urbanisme ◆ Actions prioritaires ◆ opérations pilotes <p>- Prise en compte de la circulation du vent et de la résistance du tissu urbain à ce vent.</p> <p>- Déclinaison dans les politiques de gestion des espaces verts :</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Entretien des espaces verts et des arbres d'alignement ◆ Plantations nouvelles ◆ Choix des essences ◆ Renforcement de la présence de l'eau : fontaines, canaux, plans d'eau, mares... 	<p>occultations ; isolation par l'extérieur ; toitures végétalisées...</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Couleurs et types de matériaux des toitures et des revêtements au sol, mais également des façades. <p>- Engagements au sein des PCL :</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Urbanisme ◆ Actions prioritaires ◆ opérations pilotes <p>- Végétalisation des espaces publics (places, squares), des équipements et des voiries</p> <p>- végétalisation des espaces de circulation et de stationnement des piétons</p> <p>- végétalisation des grandes dalles ou espaces de stationnement</p>
--	--	--	---	---

5.3 A l'échelle de l'opération d'urbanisme

Echelles	Eléments de diagnostic / indicateurs	Sites potentiels d'actions	Outils réglementaires/ Moyens d'actions	Type d'actions
Opération d'urbanisme	<ul style="list-style-type: none"> - Densité d'espaces verts en pleine terre dans l'opération - % de surface végétalisée / surface totale - Degré d'ouverture au ciel 	<ul style="list-style-type: none"> - Espaces publics : places, squares, espaces verts... - Espaces de circulation des voitures et des piétons - Dalles, parkings, cœurs d'îlot - zone d'activités - nouvelles routes ou nouvelles infrastructures (tram) 	<ul style="list-style-type: none"> - Intégration au sein des cahiers des charges : par exemple : <ul style="list-style-type: none"> ◆ Couleurs et types de matériaux des toitures et des revêtements au sol et des façades - Actions spécifiques sur les espaces publics : <ul style="list-style-type: none"> ◆ Plantations ◆ Création d'espaces verts ◆ Création de cheminements piétons végétalisés ◆ Création de bassins de rétention des eaux pluviales - Lancement d'opérations pilotes en matière de végétalisation 	<ul style="list-style-type: none"> - végétalisation des espaces publics et des parkings - rues végétalisées (circulation sur 2 bandes bitumées)

5.4 A l'échelle du bâtiment

Bâtiment	<ul style="list-style-type: none"> - consommation énergétique en climatisation d'été - température intérieure - ombre végétale portée sur le bâtiment 	<ul style="list-style-type: none"> - toitures - façades - espaces privatifs : cours intérieures 	<ul style="list-style-type: none"> - Intégration au sein des cahiers des charges Subventions Opérations pilote en matière de végétalisation de bâtiments (publics ou d'habitation) - Conception ou réhabilitation des cœurs d'îlots Aménagement de cœurs d'îlots 	<ul style="list-style-type: none"> - Végétalisation des toitures et façades des bâtiments - Toits clairs, réfléchissants...
-----------------	--	--	---	---

Sources : Agence d'Urbanisme de la Région Grenobloise

5.5 Proposition d'éléments à intégrer dans les PLU

Dans le diagnostic du PLU :

Repérage des éléments de confort ou d'inconfort thermique :

- Carte des densités végétales
- Délimitation des espaces bénéficiant de l'influence thermique des parcs, espaces naturels, plans d'eau
- Cartes des niveaux d'imperméabilisation des sols (densité minérale)
- Délimitation des secteurs urbains dont la morphologie contribue à la création d'îlots de chaleur urbains (centres denses, grandes façades orientées ouest, nord ouest)



Réalisation d'une carte de synthèse délimitant à grande maille les espaces de confort et d'inconfort thermique sur le territoire communal.

Localisation des établissements sensibles : équipements ou installations recevant du public, foyers de personnes âgées. :



Réalisation d'une carte de localisation des espaces à enjeu prioritaire en matière d'exposition aux risques d'inconfort thermique.

Analyse du potentiel de densification végétale :

- Localisation des grandes surfaces de stationnement
- Localisation des espaces libres non végétalisés
- Localisation des toitures terrasse dans les zones urbanisées.

Dans le PADD

- Affichage des principes de confortement de la trame verte
- Délimitation des secteurs d'intervention prioritaire en matière de réduction de l'inconfort thermique (correspondent à des zones indicées sur le plan de zonage)
- Délimitation des sites à végétaliser : parkings, ...

Dans le plan de zonage :

Délimitation de zones indicées renvoyant à des règles spécifiques de lutte contre l'inconfort thermique estival ?

Emplacements réservés : pour confortement de la trame verte.

Dans le règlement :

- % de surfaces végétalisées dans les nouvelles opérations (incluant les toitures terrasse) ou conditionnant des extensions (zones commerciales par exemple)
- % de surfaces en pleine terre avec plantations d'arbres
- choix de couleurs claires pour les revêtements de façades dans les secteurs exposés aux inconforts thermiques.
- Choix de matériaux de toitures (ardoises interdites dans les secteurs exposés aux risques d'inconfort thermique)
- Principes de protection du bâti contre l'ensoleillement des façades Ouest : occultations obligatoires.
- Conditions d'habitabilité des surfaces sous toitures : ventilation, isolation des combles dans les secteurs sensibles.

Dans les annexes : notice technique de végétalisation des toitures terrasse ou des murs.
Choix des essences...

ANNEXES

Méthodes d'analyse des images Landsat

1. Correction radiométrique (équation 1, annexe)
2. Calcul de la température de surface (équation 2, annexe)
 - module de grass pour les calculs : **r.mapcalculator**
 - *Résolution de travail = 60 m*
3. superposition des équipements et des températures

Equation 1:

$$L_{\lambda} = ((LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}) / (DNMAX - DNMIN)) * (DN - DNMIN) + LMIN_{\lambda}$$

Equation 2:

$$T_{Landsat} = K2 / \ln((K1 / L_{\lambda}) + 1) - 273$$

where,

L_{λ}	Spectral radiance watts/(m*m * ster * μm)
DN	Digital Number
$LMIN_{\lambda}$	Spectral radiance which is correlate with DNMIN watts/(m*m * ster * μm)
$LMAX_{\lambda}$	Spectral radiance which is correlate with DNMAX watts/(m*m * ster * μm)
DNMIN	Minimum value of DN (1 (LPGS Product) or 0 (NLAPS Product))
DNMAX	Maximum value of DN = 255
$T_{Landsat}$	Effective temperature (Celsius)
K1	666.09 W/(m*m*ster*μm), calibration const.
K2	1282.71 W/(m*m*ster*μm), calibration const.

K1 = calibration constant [Watt][m⁻²][sr⁻¹][um⁻¹] / [Landsat7 = 666.09, Landsat5 = 607.76]

K2 = calibration constant [degrees K] / [Landsat7 = 1282.71, Landsat5 = 1260.56]

Exemple pour Landsat 7- Formule pour grass dans r.mapcalculator

Etape 1. Correction radiométrique

BAND 61 (A-1) * (17.04)/254

BAND 62 (A-1) * (12.65-3.2)/254 +3.2

A=image Landsat b61

Etape 2. Calcul de température

T=1282.71/(log (666.09/A+1))-273

A=correction radiométrique

Température effective:

teff=k2/ln(k1/band6_radcorr)+1)-273

Constante de calibration

k1=666.09

k2=1282.71



Agence d'urbanisme
pour le développement de l'agglomération lyonnaise