

Pictogramme : classification des Ilots morphologiques urbains en zone climatique locale

Le pictogramme correspond à l'un des 17 types du référentiel des « Zones climatiques locales (LCZ) », système de classification des sites urbains et ruraux selon leur différenciation thermique établi par Iain D. Stewart et Timothy R. Oke (Department of Geography, University of British Columbia, Vancouver, Canada).

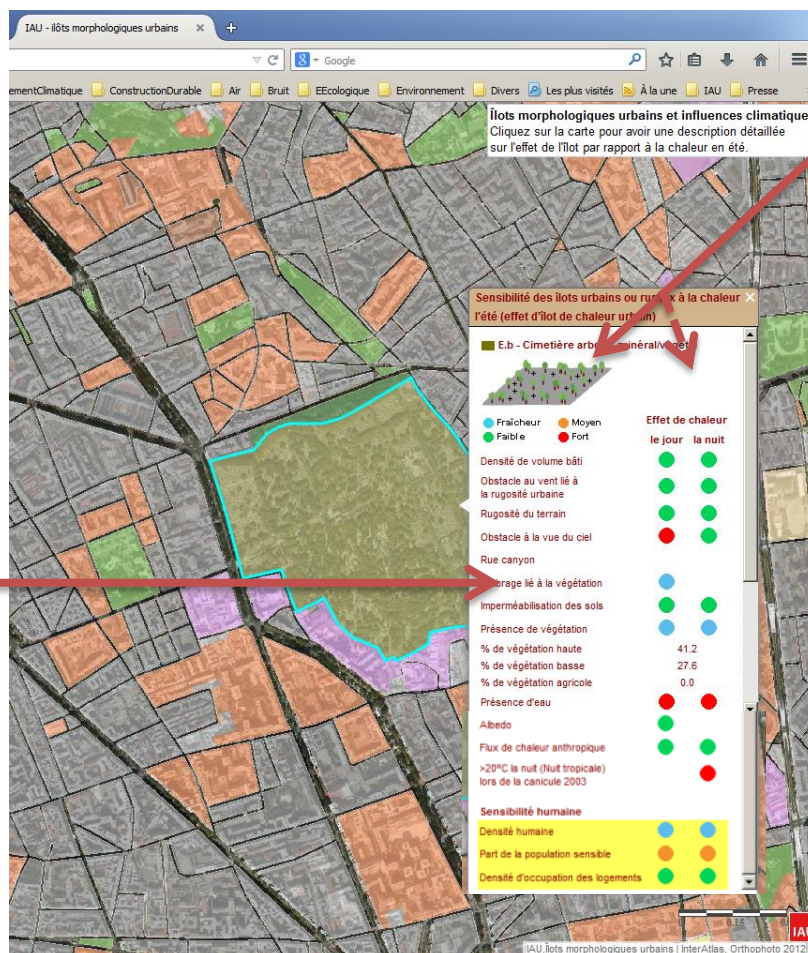
Les LCZ sont définies comme des entités spatiales uniformes pour leur distribution des températures de l'air et de surface comprise entre 100 et 1000 mètres sur un plan horizontal. Chaque LCZ exprime une géométrie caractéristique et une occupation du sol qui génère un climat spécifique – une température de surface unique – par temps calme et ciel dégagé. Les zones sont différenciées par leurs propriétés de surface qui influencent directement la température de référence (1,5 à 2 m au-dessus du sol), telle que la part de végétalisation, la hauteur et l'espacement du bâti et des arbres (rugosité/compacité), l'humidité du sol et les flux de chaleur anthropogéniques. Selon ces différenciations, le continuum urbain-rural aboutit à une hiérarchie de 17 zones climatiques : 10 LCZ de type « bâti » (« building ») ; 7 LCZ de type « non bâti » (« land cover »).

Les Ilots morphologiques urbains (IMU) 2012 constituent un référentiel géographique numérique de la typo-morphologie des îlots sur toute l'Ile-de-France, tant les îlots urbains (« pâtés de maisons ») que les îlots d'espaces ouverts sans bâti. A partir des caractéristiques de chaque IMU, un rapprochement avec la classification LCZ a pu être constitué afin d'en préciser son type d'influence climatique.

Un clic droit sur un îlot (**cerné bleu**) fait apparaître une fenêtre qui précise son type LCZ et sa sensibilité à la chaleur l'été : l'effet d'ICU et l'enjeu de présence humaine

Indicateurs de perturbations radiative, thermique, aérologique, hydrologique (propriétés LCZ...)

**Ils sont décrits
un par un
en pages
suivantes**



**Pictogramme = type LCZ
de l'îlot morphologique
urbain (IMU)**

de 1 à 10 ou de A à G
avec son intitulé

à gauche, le LCZ dominant
à droite, le LCZ secondaire

**Effets potentiels
d'îlot de chaleur ou de fraîcheur
le jour et/ou la nuit
en période d'été
liés à chacune des propriétés**

● Fraîcheur ● Moyen
● Faible ● Fort
à aucun effet de chaleur

Sensibilité de l'îlot liée à la présence humaine

● Aucune
 ● Moyen
 ● Faible
 ● Fort

Définition des indicateurs de perturbations radiative, thermique, aérologique, hydrologique

Nombre de surfaces bâties

« Densité des volumes bâtis »

Densité rapportée à la surface de l'îlot de tous les volumes de bâti dépassant du sol révélant l'importance des surfaces de toits et de murs

Nature de l'effet : nombre de surfaces proposées à l'interception des rayonnements

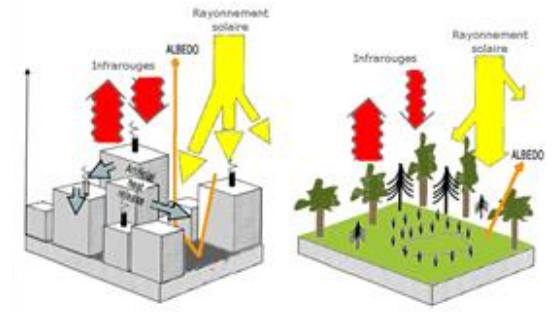


Plus il y a de bâti, plus grande est la surface d'absorption du rayonnement solaire par réflexion et piégeage des rayonnements par les surfaces verticales (**en rouge**)



Plus il y a de bâti, plus grande est la surface de restitution de la chaleur emmagasinée par la multiplication des surfaces verticales (**en rouge**)

Précision sur l'élaboration de l'indicateur : Volume (Hauteur x surface au sol) des masses construites (bâtiments et réservoirs) de la Bd_Topo (V2 - janvier 2011) de l'IGN : Bâtiments surfaciques (Bâtiments + sel de Constructions légères) + Réservoirs (réservoirs non souterrains de +10m : château d'eau, réservoir d'eau, réservoir industriel)



Flux d'énergie et de rayonnement au-dessus d'une zone urbaine et d'une zone rurale - Source : Colombert, 2008 (simplifié)

Hauteur du bâti

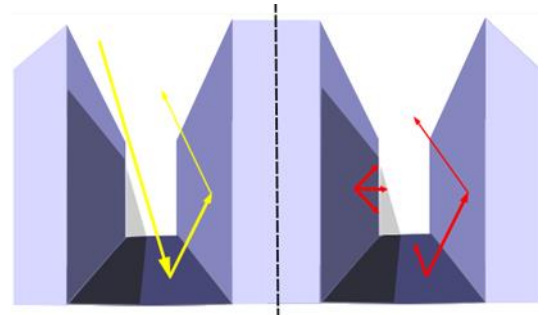
« Hauteur moyenne pondérée du bâti »

Valeur de la hauteur moyenne pondérée des éléments bâtis d'un îlot (en mètre)

Nature de l'effet : perturbations radiatives (ombrage, interception des rayonnements) et aérologiques (effet sur la circulation des masses d'air) ; valeur donnée à titre d'indication car les effets diurne et nocturne sont dépendants d'autres paramètres comme le coefficient d'occupation du sol

Précision sur l'élaboration de l'indicateur : Rapport entre le Volume des masses construites (bâtiments et réservoirs) de la BD TOPO (V2 - janvier 2011) de l'IGN et la surface au sol qu'elles occupent ; cet indicateur ne renseigne que la hauteur des éléments bâti au sein d'un îlot.

Propriété LCZ proche de cet indicateur : « Mean building/tree height » (ZH), de 0 à 50+ mètres, moyenne géométrique des hauteurs du bâti (LCZ de 1-10) et des hauteurs du couverts arbres/plantations (LCZ de A-G).



Rayonnement solaire et infrarouge en ville – Source : IAU îdF

Ventilation de l'îlot

« Rugosité urbaine »

La rugosité urbaine rend compte de l'occupation des sols, de la compacité au sol et de la hauteur des bâtiments et de la végétation d'un îlot.

Nature de l'effet : effets d'obstacle aux vents - notamment aux vents faibles (brises thermiques) en période de canicule - des îlots compacts bâtis ou des îlots densément arborés ; plus forte est la rugosité urbaine, plus l'écoulement de l'air est perturbé, ralenti, moins la ventilation de l'îlot est efficace. Outre la chaleur, la stagnation des masses d'air peut favoriser la concentration des polluants atmosphériques (absence de dispersion) en fonction des activités anthropiques.



Plus la rugosité est forte : obstacle à la circulation des vents faibles (brises thermiques), rafraîchissante ; faible dispersion de la chaleur et de la pollution (**en rouge**)



Plus la rugosité est forte : obstacle à la circulation des vents faibles (brises thermiques), rafraîchissante, faible dispersion de la chaleur et de la pollution (**en rouge**)

Précision sur l'élaboration de l'indicateur : Indicateur synthétique de rugosité par occupation du sol dominante : il est défini par le rapprochement d'un niveau de rugosité (compacité + hauteur) à un type d'occupation du sol.

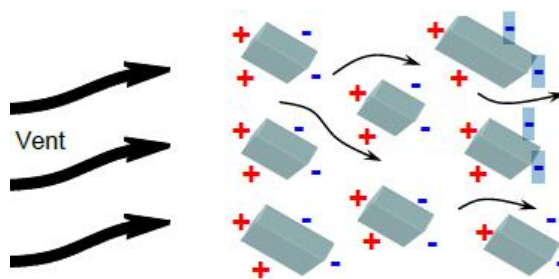
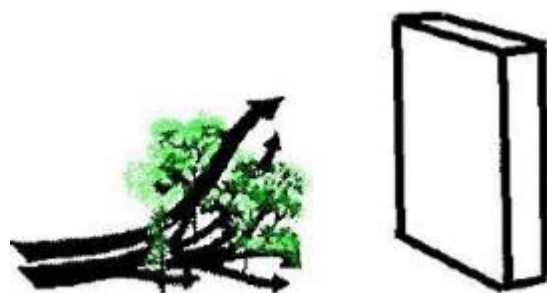


Schéma en quinconce – Source : ALTO Ingenierie



Protection végétale – Source : RUROS

Nature du sol et écoulement de l'air

« Rugosité du terrain »

La rugosité du terrain rend compte de la rugosité réelle du terrain (Z0) pour les villes et les paysages ruraux. Ce paramètre est implicitement lié aux effets d'agglomération sur le régime des vents de l'air et l'effet d'îlot de chaleur métropolitain (ICU métropolitain).

Nature de l'effet : Ce paramètre influe sur la réflectivité de surface, le régime des flux d'air, et la dispersion de chaleur au-dessus du sol. Plus forte est la rugosité, plus le frottement de l'air sur le sol est important, ralentissant la masse d'air.

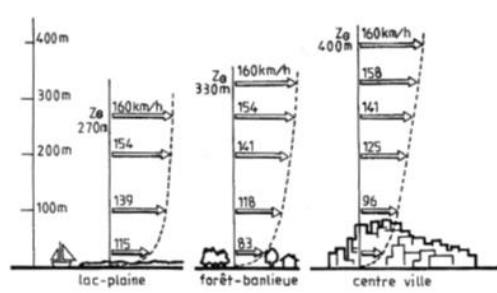


Plus le terrain est rugueux : obstacle à la circulation des vents, faible dispersion de la chaleur (**en rouge**)



Plus le terrain est rugueux : obstacle à la circulation des vents, faible dispersion de la chaleur (**en rouge**)

Précision sur l'élaboration de l'indicateur : défini d'après le type LCZ et la valeur forfaitaire de la propriété LCZ de classe de rugosité du terrain « Terrain roughness Class », de 1 à 8 de la classification de Davenport et al. (2000) relative à la rugosité réelle du terrain (Z0) pour les villes et les paysages ruraux.



Profil de la vitesse du vent pour différentes surfaces - Source : Chatelet et al., 1998 in. Colombert, 2008

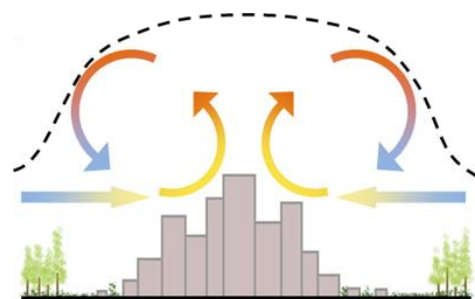


Schéma du phénomène de brise thermique de la campagne vers la ville. Ces brises de campagne engendrent un effet de dôme au-dessus de la ville particulièrement néfaste lors des pics de pollution - Source : IAU idF

Obstacle à la vue du ciel

« Facteur vue du ciel »

Le Facteur de vue du ciel (SVF) correspond à la portion de ciel observable à partir de la surface considérée (fraction hémisphérique de ciel visible depuis le sol). Ce facteur est égal à 1 dans le cas d'une surface plane sans obstacle et varie entre 0 et 1.

Nature de l'effet : Le Facteur de vue du ciel permet d'évaluer la facilité avec laquelle se produit le refroidissement nocturne par échange radiatif avec le ciel.



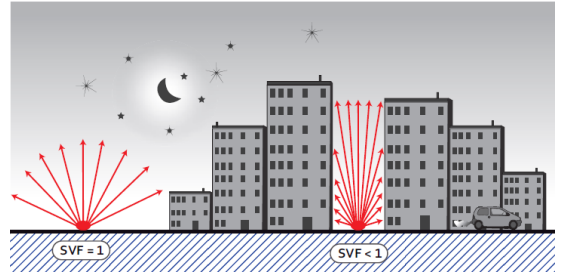
Si la vue du ciel importante (exemple d'une prairie, $SVF > 0,9$), le rayonnement solaire parvient sans obstacle : chaleur ressentie, éblouissement (**en rouge**)



Si le SVF est faible (cas des immeubles hauts et compacts), les rayonnements infra-rouge (IR) libérés vers le ciel par les surfaces prennent du temps et se dégagent car ils sont piégés par les surfaces verticales (**en rouge**). A contrario, quand le SVF tend vers 1, les rayonnements IR rejoignent le ciel sans obstacle (« rayonnement froid de la voûte céleste ») facilitant le refroidissement (**en vert**)

Précision sur l'élaboration de l'indicateur : SVF approché défini selon le type LCZ et les caractéristiques de rugosité minérale/végétale de l'IMU

Propriété LCZ proche de cet indicateur : «Skye view factor, SVF » (ψ_{sky}), de 0 à 1, en fonction de la hauteur et de l'espacement des bâtiments et des arbres.



En ville (SVF faible), le refroidissement est contraint par la présence de bâtiments ; en zone rurale, plus le terrain est nu ou à végétation basse, il est maximum (SVF se rapprochant de 1).
- Source Apur

Rues étroites bordées d'immeubles hauts

« Rue canyon »

La configuration de canyon urbain se retrouve souvent dans les îlots d'ensembles compacts d'immeubles de moyennes ou de grandes hauteurs.

Nature de l'effet : ce type de configuration exclusivement urbaine perturbe les flux d'air en surface et les échanges de chaleur / de rafraîchissement radiatifs (ombrage).



Dans les rues Canyons : ombrage lié aux immeubles, (**en vert**)



Dans les rues Canyons : obstacle à la circulation des vents, faible dispersion de la chaleur (par piégeage des rayonnements IR) et de la pollution (**en rouge**)

Précision sur l'élaboration de l'indicateur : défini approché selon l'emprise des viaires (routes, fer, eau) délimitant l'IMU, sa compacité et sa hauteur moyenne

Propriété LCZ proche de cet indicateur : Indice Rue Canyon (Aspect ratio) H/W , de 0 à 3+, moyenne du rapport Hauteur-sur-Largeur des rues canyons (LCZ 1-7), de l'espacement entre les éléments bâti (LCZ 8-10) et de l'espacement entre les arbres (LCZ A-F).

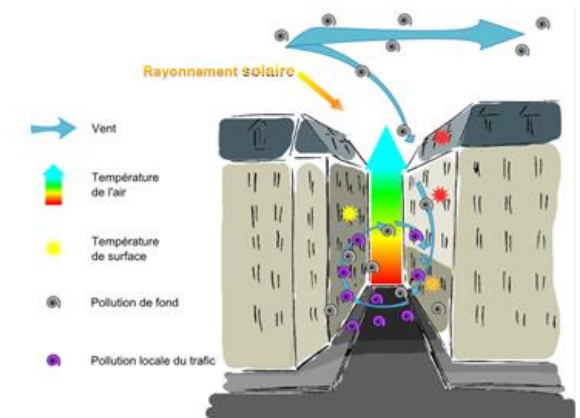


Schéma d'une rue canyon : le vent dominant s'engouffre dans la rue et est dévié par les obstacles que constituent les bâtiments. Les masses d'air ont alors un mouvement en spirale, renforcé par la convection due à la chaleur : l'air chaud des rues monte et est remplacé par l'air froid qui circule au-dessus de la ville ce qui permet de chasser la chaleur et les polluants de la ville et de la rue - Source IAU îdF

Ombrage lié aux arbres

« % de végétation haute »

La présence d'arbres, lorsque la surface couverte est significative rapportée à la surface de l'îlot, est un atout l'été pour l'atténuation de l'ensoleillement.

Nature de l'effet : la rugosité végétale liée à la présence d'arbre est source de perturbations radiatives (ombrage) ; à noter que les arbres peuvent aussi faire obstacles aux circulations des masses d'air.

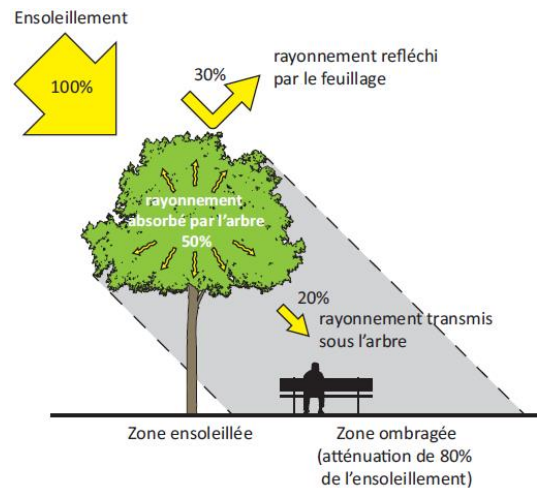


Le jour, plus la zone ombragée est importante, plus l'atténuation de l'ensoleillement est efficace (surface arborée entre 10 et 25%, **en vert** ; et >25%, **en bleu**, effet rafraîchissant)



La nuit, pas d'effet d'ombrage

Précision sur l'élaboration de l'indicateur : il est déterminé à partir du taux de végétation haute soit le % de surface planimétrique (projection verticale des houppiers) de végétation haute de type arbres, strate arbustive/arborée, (plus de 6 mètres) via calcul de l'indice de végétation par la BD ORTHO IRC 2008 et calcul de la stratigraphie par la BD ALTI 2012 de l'IGN, le MNT/MNE d'INTERATLAS ;



Atténuation de l'ensoleillement par un arbre - Source Apur

Imperméabilisation des sols

« % de surfaces imperméabilisées »

L'imperméabilisation des sols comprend les surfaces au sol revêtues et les emprises bâties. La carence en sols perméables traduit l'absence de potentiel d'évaporation ou d'évapotranspiration d'un îlot.

Nature de l'effet : Ce paramètre influe sur la réflectivité de surface, la disponibilité de l'humidité, le potentiel de chaleur/rafraîchissement (propriétés thermiques des matériaux et des surfaces avec ou sans eau).



Plus l'îlot est imperméable, plus il y a d'échauffement des surfaces (chaleur sensible) : baisse de l'évaporation en surface et emmagasinement de chaleur des matériaux les plus poreux (**en rouge**)



déstockage la nuit de la chaleur emmagasinée le jour selon l'inertie (effet retard) des matériaux (**en rouge**)

Précision sur l'élaboration de l'indicateur : Pourcentage d'imperméabilisation défini par la somme des surfaces au sol des bâtiments et des voiries revêtues connues par la BD TOPO (V2 - janvier 2011) ou le MOS, rapportée à la surface de l'IMU. Cet indice d'imperméabilisation dit "approché" ne rend pas compte de certaines surfaces revêtues imperméables mal identifiées par la BD TOPO (les cours d'école revêtues...)

Propriété LCZ proche de cet indicateur : Impervious surface fraction (λ_i), de 0 à 100%

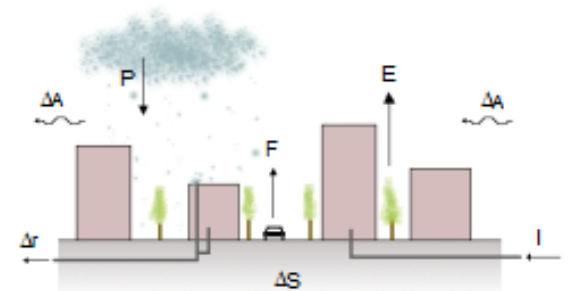


Schéma descriptif du bilan hydrique pour une zone urbaine – Source IAU IdF, réalisé à partir de Colombert, 2008

P : Précipitations ; *F* : vapeur d'eau provenant des processus de combustion ; *I* : eau apportée artificiellement par les canalisations ; *E* : vapeur d'eau des processus d'évaporation, d'évapotranspiration et de condensation ; Δr : ruissellement et évacuation ; ΔS : emmagasinement dans la ville ; ΔA : vapeur d'eau transportée par advection (déplacement horizontal des masses d'air).

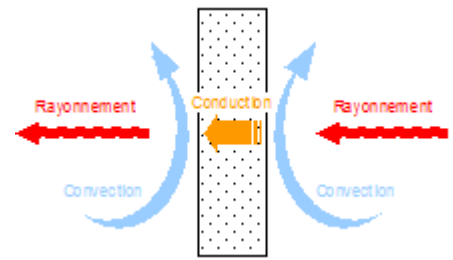
Propriétés thermiques des matériaux

« effusivité thermique »

Valeur forfaitaire moyenne (en $J\ m^{-2}\ s^{1/2}\ K^{-1}$) rendant compte de la capacité de la surface à emmagasiner ou à dégager de la chaleur, selon les types de matériaux, leur porosité, leur humidité...

Nature de l'effet : Propriétés thermiques des matériaux et des surfaces avec ou sans eau. Ce paramètre influe sur le stockage de chaleur des surfaces et les taux/vitesses d'échauffement/refroidissement.

Précision sur l'élaboration de l'indicateur : valeur forfaitaire attribuée par LCZ d'après la propriété LCZ de Surface admittance (μ), de 0 à 3000+, en $J\ m^{-2}\ s^{1/2}\ K^{-1}$: Coefficient de transfert de chaleur / coefficient de transmission surfacique des matériaux de surface. Les valeurs donnent un spectre caractéristique des surfaces dans chaque LCZ (par exemple, des immeubles, des routes, des sols, de l'eau). Elles varient selon l'humidité du sol et la densité des matériaux.



Rayonnement, convection et conduction sur une paroi - Source IAU idF

La chaleur se diffuse dans les matériaux par conduction : si un mur est chauffé par le soleil à l'extérieur, ou un système de chauffage à l'intérieur d'un bâtiment, cette chaleur va se diffuser à travers le matériau du mur. C'est pour cette raison que l'on observe des pertes de chaleur des bâtiments en hiver lorsque les logements et bureaux sont chauffés (La conduction vise à rétablir l'équilibre de température).

Présence de végétation

« Taux de végétation »

La présence de végétation, outre l'ombrage, est précieuse aussi pour sa capacité d'évapotranspiration.

Nature de l'effet : l'évapotranspiration s'accompagne d'une transformation de l'énergie lumineuse à fin de changement d'état physique de l'eau en vapeur (chaleur latente), donc sans changement de température.



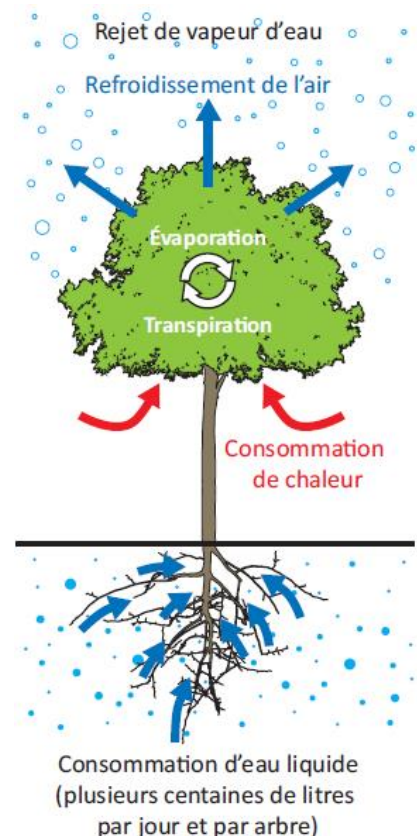
Plus la surface de végétation est importante et arborée, et hors condition de manque d'eau (stress hydrique), plus le rafraîchissement de l'air est efficace (**en bleu**)



L'évapotranspiration est moins importante que le jour, mais la surface se rafraîchit plus vite (**en bleu**)

Précision sur l'élaboration de l'indicateur : cumul des % de végétation haute, basse et agricole : surfaces planimétriques de végétation de type arbres (surface planimétrique de la projection verticale des houppiers des arbres de plus de 6 mètres), de type pelouse & mélange, strate herbacée/arbustive via le calcul de l'indice de végétation par la BD ORTHO IRC 2008 et calcul de la stratigraphie par la BD ALTI 2012 de l'IGN, le MNT/MNE d'INTERATLAS, plus le % de surface de type agricole, strate herbacée/arbustive (sélection à partir du MOS 2008 des terres agricoles : terres labourées ; surfaces en herbe à caractère agricole ; vergers, pépinières, maraîchage, horticulture)

Propriété LCZ proche de cet indicateur : Pervious surface fraction (λ_i), de 0 à 100%



L'évapotranspiration - Source Apur

Taux de végétation haute

« % de végétation haute »

Taux de végétation basse

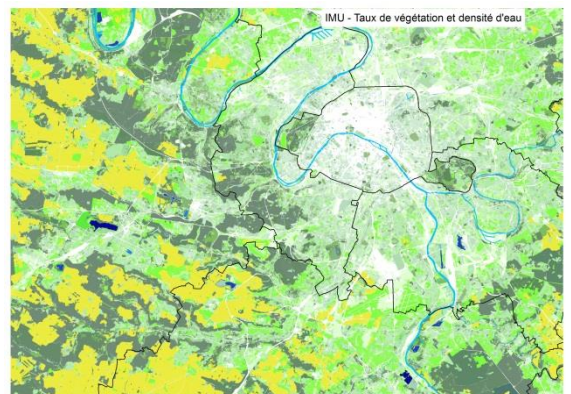
« % de végétation basse »

Taux de végétation agricole

« % de végétation agricole »

Valeurs (en %) de la part dans l'IMU des surfaces occupées par de la végétation :

- haute de type arbre (ombrage, capacité d'évapotranspiration très efficace, rugosité végétale) ;
- basse de type pelouse & mélange, strate herbacée/arbustive (ombrage moindre, capacité d'évapotranspiration) ;
- agricole, strate herbacée/arbustive (ombrage moindre, capacité d'évapotranspiration).



Taux de végétation des îlots morphologiques urbains (IMU) - Source IAU îdF

Présence d'eau

« Densité d'eau »

Cumul des surfaces en eau présentes dans un IMU rapportées à sa surface. La présence d'eau est précieuse pour sa capacité d'évaporation rafraîchissant l'air.

Nature de l'effet : l'évaporation au-dessus des bassins et plans d'eau s'accompagne d'une transformation de l'énergie lumineuse pour le changement d'état physique de l'eau en vapeur (chaleur latente) donc sans changement de température.

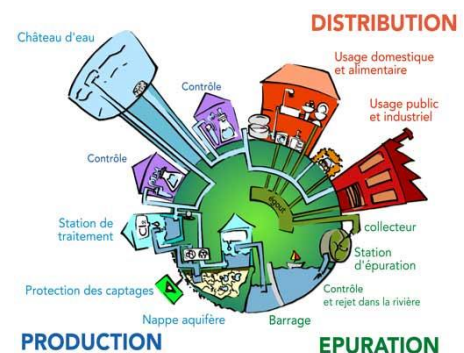


Plus la surface en eau de l'îlot est importante, plus le rafraîchissement de l'air par évaporation est efficace (**en bleu**)



Si le rafraîchissement de l'air par évaporation s'atténue, le dégagement des rayonnements infrarouges se fait sans obstacle au-dessus des masses d'eau ce qui accélère le refroidissement de la zone (**en bleu**)

Précision sur l'élaboration de l'indicateur : cumul des surfaces des postes 11.Eau fermée, 20.Baignade, 56.Piscine découverte du Mode d'occupation du sol (MOS) + Surface forfaitaire de 50 m² par mare localisée + Surface des Bassins ouverts de la BD TOPO, le total étant rapporté à la surface de l'IMU



En ville, l'eau est puisée dans les cours d'eau ou les nappes phréatiques, traitée et contrôlée avant d'entrer dans les réseaux de distribution d'eau. Une fois utilisée, elle rejoint les égouts, qui recueillent aussi les eaux de ruissellement, passe par une station d'épuration et est rejetée dans les rivières lorsque le réseau fonctionne de manière unitaire. Le cycle anthropique de l'eau - Source : www.cile.ber



« Le brumisateur naturel » - Source : Lo Giudice, Marquet, 2008

Réfléchissement de la lumière

« Albedo »

L'albédo est une valeur physique qui représente la part de l'énergie réfléchiée par rapport à l'énergie solaire reçue

Nature de l'effet : Réflectivité moyenne pondérée de la surface de la zone, à l'échelle locale, sous un ciel clair à la mi-journée; elle varie selon l'humidité des surfaces (la rugosité et les matériaux) : plus le rayonnement solaire est renvoyé vers l'espace (plus l'albédo tend vers 1), moins il sert à chauffer la planète.

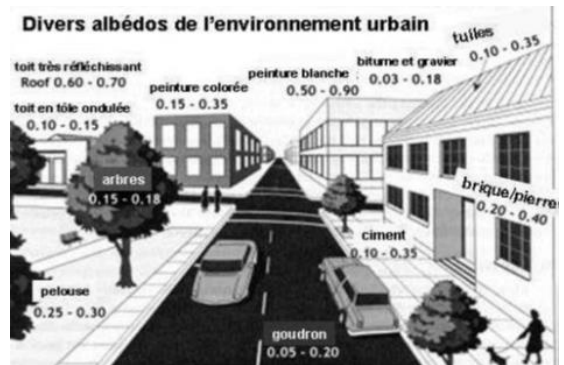


Un îlot dont la valeur moyenne d'albédo est faible (surfaces/matériaux sombres) signifie qu'il provoque peu d'éblouissement mais présente beaucoup de surfaces qui s'échauffent (**en rouge**). A contrario, avec un albédo élevé (façades d'immeuble réfléchissantes, revêtements clairs dans l'espace public), les surfaces peuvent être très réfléchissantes et occasionner une gêne par effet d'éblouissements (mais **en vert**, car peu d'échauffement)



Cette propriété d'albédo ne signifie rien pour la période nocturne car la lumière du soleil n'est pas visible.

Précision sur l'élaboration de l'indicateur : valeur forfaitaire d'après le type LCZ de l'IMU reprenant la correspondance de la propriété LCZ d'Albédo (α).



Albedo en ville - Source : Colombert, 2008

L'albédo correspond au rapport entre l'énergie reçue et l'énergie réfléchiée. L'albédo s'exprime en fraction de 0 à 1, où 1 représenterait une surface qui réfléchirait 100 % de l'énergie et 0 une surface qui absorberait entièrement les rayonnements sans aucune réflexion. Ainsi, une surface dont l'albédo est inférieur à 0,03 (ou 3 %) est perçue comme noire, celle dont l'albédo est supérieur à 0,8 (ou 80 %) est perçue comme blanche. Une surface parfaitement blanche ou un miroir parfait réfléchit 100 % de la lumière, et a donc un albédo de 1, à l'inverse, une surface parfaitement transparente ou d'un noir parfait a un albédo de 0.

Chaleur produite par l'activité humaine

« Flux de chaleur anthropogénique »

Emission de chaleur anthropogénique dans l'îlot liée aux procédés Industriels, à la combustion des moteurs de véhicules, et aux rejets secs dans les rues par les systèmes de climatisation et d'extraction

Nature de l'effet : Flux de chaleur lié aux activités humaines qui aggrave le réchauffement de la ville, notamment au niveau des rues.



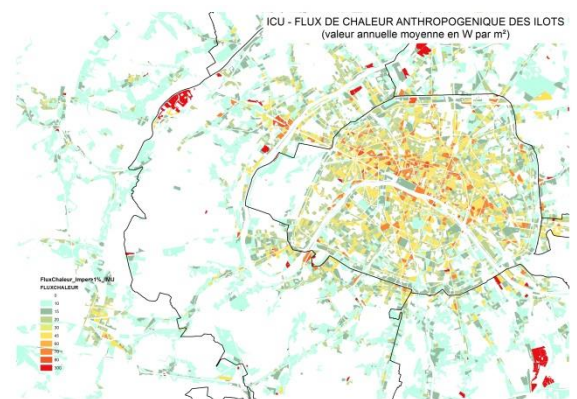
Emission de chaleur anthropogénique à même la rue et au sein de certains îlots, notamment à caractère industriel (**en rouge**)



Les émissions de chaleur anthropogénique peuvent continuer à se produire en soirée et la nuit même si certaines activités s'atténuent comme la circulation routière (**en rouge**)

Précision sur l'élaboration de l'indicateur : indicateur synthétique sur la base de la nature industrielle de l'IMU, du trafic routier l'entourant, et des consommations énergétiques du bâti tertiaire pour l'électricité spécifique, la cuisson, et la climatisation (en W/m^2).

Propriété LCZ proche de cet indicateur : Intensité de flux de chaleur anthropogénique moyen annuel (QF), de 0 à 400+, en W/m^2 (comprend aussi le métabolisme humain).



Flux de chaleur anthropogénique (en W par m^2) – Source IAU îdF

Zone ICU nocturne lors de la canicule 2003

« Indicateur de Nuit tropicale (>20°C) lors de la canicule 2003 »

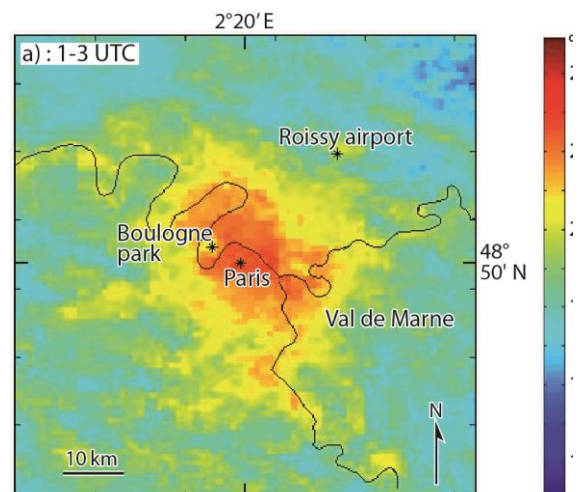
Indication rétrospective de l'extension de l'îlot de chaleur métropolitain nocturne - via les relevés de température de surface et l'indicateur de Nuit tropicale - qui s'est produit durant les 10 jours de canicule en 2003.

Nature de l'effet : lors de l'épisode de canicule 2003, contraste de nuit entre un îlot de chaleur étendu sur le centre de l'agglomération et la campagne environnante (avec le centre-ville, magnitude d'environ 8°C). La nuit étant normalement une période de récupération pour les organismes vivants, si la température reste « tropicale », ne descendant pas en-dessous de 20°C, ce territoire devient particulièrement sensible.



Lorsque l'IMU a été compris dans la zone de dépassement de l'indicateur de nuit tropicale, le contexte de sensibilité était plus marqué en 2003 (**en Rouge**), a contrario il l'était moins (**en vert**).

Précision sur l'élaboration de l'indicateur : croisement géographique entre les IMU et la zone >20°C lors de l'épisode de canicule survenu en 2003 : valeur de 1 si l'IMU est compris dans la zone, sinon valeur de 0.



Température de surface en région parisienne obtenues à partir d'images thermiques des satellites NOAA-AVHRR 12, 16 et 17, durant la canicule du 4 au 13 août 2003. Températures moyennées sur 9 images, pour l'intervalle de temps compris entre 01 et 03 UT (3 et 5 heure locale) ; cette image révèle le contraste de nuit entre un îlot de chaleur sur le centre-ville d'une magnitude d'environ 8°C.

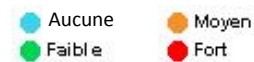
Source : Figure reproduite de : Dousset et al. (2011), International Journal of Climatology, John Wiley & Sons. Albedo en ville

Définition des indicateurs de sensibilité humaine à l'effet d'îlot de chaleur l'été

Ce n'est qu'en s'intéressant à l'ensemble du diagnostic – zone à effet d'ICU, sensibilité, capacité à faire face – que des actions d'aménagement efficaces peuvent être proposées. Compte tenu du nombre d'enjeux associés au risque ICU (confort thermique et santé des populations, disponibilité de la ressource en eau, approvisionnement énergétique, fragilisation du bâti et des infrastructures, etc.), plusieurs registres de vulnérabilité seraient à étudier. Nous avons fait le choix de commencer par la vulnérabilité sanitaire.

Le défi méthodologique est là encore de pouvoir mobiliser les données à l'échelle de l'IMU pour opérer des croisements géographiques qui font sens. Pour les indicateurs de sensibilité, nous avons retenu la densité humaine (population résidente + emplois), les populations les plus sensibles aux vagues de chaleur soit la présence de jeunes enfants (0 à 5 ans) et de personnes âgées (65 ans et plus), ainsi que la densité moyenne d'occupation des logements.

La sensibilité de l'IMU est appréciée suivant les 4 classes suivantes :



Densité humaine

Densité de population résidente et d'emplois par IMU. Forte densité humaine (**en rouge**), moyenne densité humaine (**en orange**), faible densité humaine (**en vert**) et aucune densité humaine (**en bleu**).

Précision sur l'élaboration de l'indicateur : Ventilation statistique par IMU des données relatives au recensement Insee de la population des ménages et hors ménages (habitat communautaire...) et de la localisation des emplois. Densité humaine "brute et basée" : Population (PopTot2009 de Densibati2009_P ; populations des ménages et hors ménage) + Emploi (ALTARES 01.01.2013 : Emplois salariés géolocalisés des entreprises et établissements ; seuil bas des tranches d'effectifs) rapportée à la surface de l'IMU (Shape_Area) :
$$\left[\frac{\text{DENSI_HAB_IMU} + \text{DENSI_EMPLOI_IMU}}{\text{Shape_Area}} \right]$$

Part de la population sensible (5 ans et moins, plus de 65 ans)

Part de la population des ménages selon l'âge : total des jeunes enfants (5 ans et moins de 5 ans) et des personnes de 65 ans et plus. Plus de 30% (**en rouge**), de 20 à 30% (**en orange**), moins de 20% (**en vert**), sans population (**en bleu**)

Précision sur l'élaboration de l'indicateur : Ventilation statistique par IMU des données relatives au recensement Insee de la population des ménages (hors communautés).

Les populations à risques

La canicule de 2003 a eu de lourdes conséquences sanitaires : plus de 15 000 décès supplémentaires par rapport à la mortalité habituelle sur cette période. Ces derniers sont directement imputables à la chaleur, en effet, 3 306 décès sont dus à des coups de chaleur, une hyperthermie ou une déshydratation.

C'est à partir de 45 ans que l'on remarque une réelle influence de la canicule sur la mortalité. On a ainsi enregistré 434 décès directement liés à la chaleur contre 9 les années précédentes. Cependant, c'est parmi les personnes âgées de plus de 75 ans que le risque apparaît le plus grand : + 70 % de décès dans cette classe d'âge, 2 852 décès de plus que les années précédentes liés à la chaleur,

mais aussi à d'autres causes indirectement liées comme les maladies cardiovasculaires (+ 2633) ou les problèmes respiratoires (+ 1213).

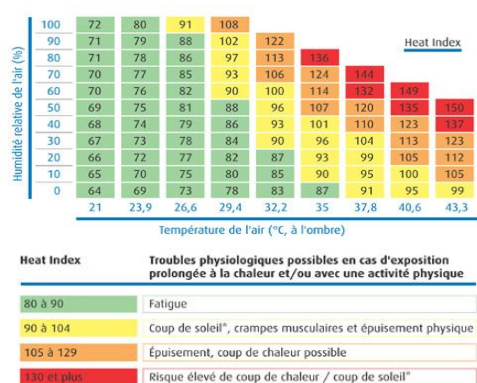
En dehors du facteur âge et santé (beaucoup de personnes souffrant déjà d'une maladie sont mortes à cause de la chaleur), on trouve également parmi les populations à risques des personnes dont les conditions de vie ou de travail les exposent particulièrement. C'est le cas par exemple des ouvriers du bâtiment, qui ont souvent des tâches physiques en extérieur. Ils ont ainsi une température de confort plus basse que les autres (cf. « Chaleur et populations », fiche n°1). De même, les SDF sont particulièrement exposés de par leurs conditions de vie, leur état de santé général et leurs faibles ressources.

Pathologies liées à la chaleur

Niveau	Effets de la chaleur	Symptômes et conséquences
Niveau 1	Coup de soleil	Rougeur et douleur, oedème, vésicules, fièvre, céphalées
Niveau 2	Crampes de chaleur	Spasmes douloureux (jambes et abdomen), transpiration
Niveau 3	Epuisement thermique	Forte transpiration, faiblesse, froideur et pâleur de la peau, pouls faible, température normale
Niveau 4	Coup de chaleur	Température corporelle supérieure à 40,6 °C, peau sèche et chaude, pouls rapide et fort, perte de conscience possible. Décès possible par défaillance de la thermorégulation.

Risques pour la santé d'une exposition à la chaleur : symptômes et niveaux de gravité

Source : inrs.fr



Afin d'anticiper les conséquences d'une canicule, on peut se référer au « Heat Index » qui, en combinant température et humidité relative de l'air permet d'évaluer le risque potentiel selon les conditions météorologiques. Cependant, ce diagramme est obtenu avec des températures prises à l'ombre avec un vent léger. En dehors de ces conditions, il faut ajouter 15 à l'indice pour évaluer le risque pour un travail en plein soleil.

Diagramme température / humidité, en relation avec les troubles physiologiques liés à la chaleur (Heat Index Chart)

Source : inrs.fr

Enfin, les pathologies, notamment respiratoires, liées à la pollution sont également à prendre en compte. Les ICU et particulièrement les canicules se caractérisent entre autre par une stagnation des masses d'air en ville ce qui concentre les polluants dans l'air et peut donc avoir des conséquences graves sur la santé.

Densité d'occupation des logements

Densité de population des ménages 2009 par m² de planchers occupés par les ménages par IMU. Forte densité d'occupation (**en rouge**), moyenne densité d'occupation (**en orange**), faible densité d'occupation (**en vert**) et aucune population (**en bleu**).

Précision sur l'élaboration de l'indicateur : densité de population des ménages par m² de planchers "ménages" : population des ménages (POPMEN2009 de Densibati2009_P) par Surface de m² planchers du bâti Habitat (COLL+INDIV) ; si absence de m² Habitat suffisant dans l'IMU, d'autres surfaces bâties de l'IMU servent au calcul (population résiduelle de ménages logés dans des équipement, administration, santé, école...).