

Katia Chancibault
GERS – Lab. Eau &
Environnement

Confort thermique et gestion des eaux pluviales en milieu urbain, dans un contexte de changement climatique



**Université
Gustave Eiffel**

INTRODUCTION

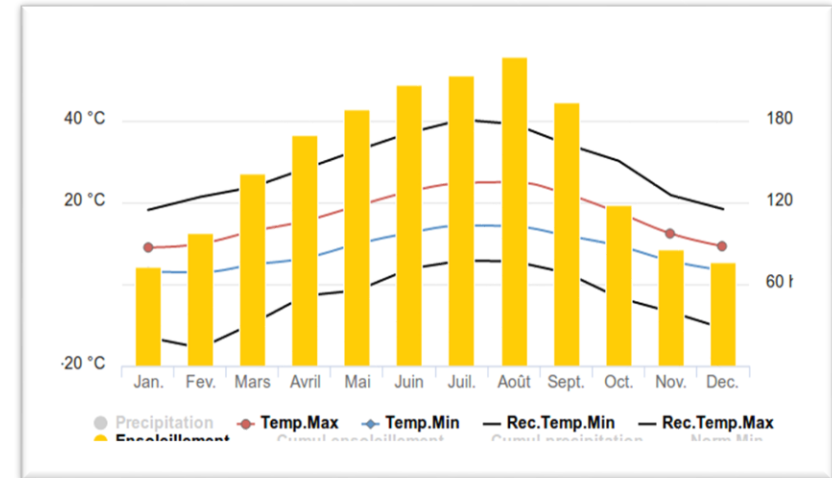
Le climat

Température
Humidité
Précipitations
Vent
...

tendances pluri-annuelles,
annuelles, mensuelles, ...

Interactions avec la ville

➤ Le (micro)climat urbain



Normales Climatiques, Nantes (station Bougenais)
Source meteofrance.fr



Source meteofrance.fr

CONTEXTE

Impacts de l'urbanisation croissante en termes de microclimat

Utilisation de surfaces anthropiques

- Bilan d'énergie modifié:
 - Augmentation des températures,
 - Particulièrement la nuit

→ îlot de chaleur urbain



Source: <http://www.localwom.com>

CAMPAGNE



Source: <https://mastodon.gougere.fr/@PierreCol>



Source: <http://www.exponentes.com>

VILLE

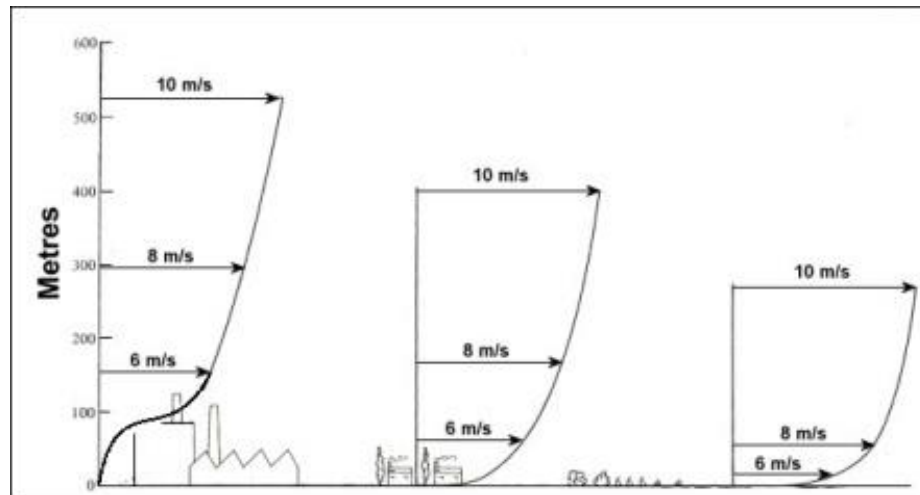


Source: <http://www.ikonai.com>

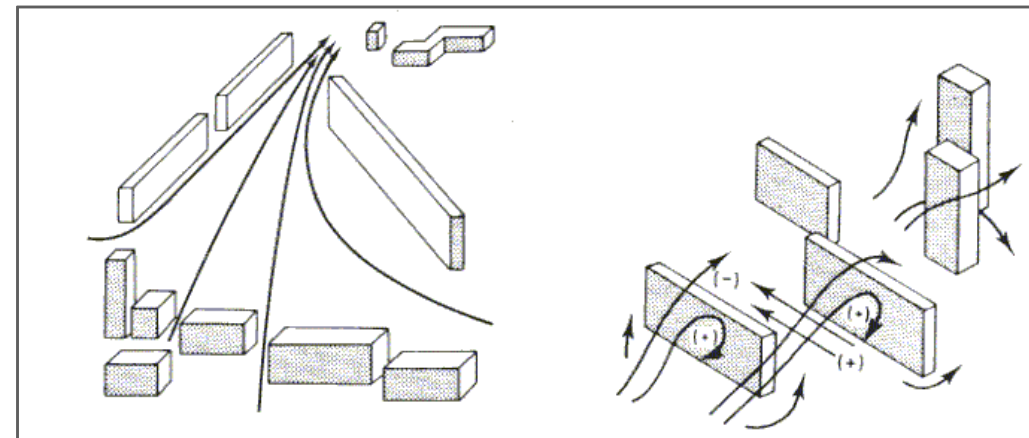
ILOT de CHALEUR URBAIN

Impact de la ville sur le vent

- Intensité : en moyenne plus faible
 - Rugosité (densité et hauteur des bâtiments)
 - Localement peut-être plus intense (effet venturi)
- Direction
 - Morphologie de la ville (direction des rues)



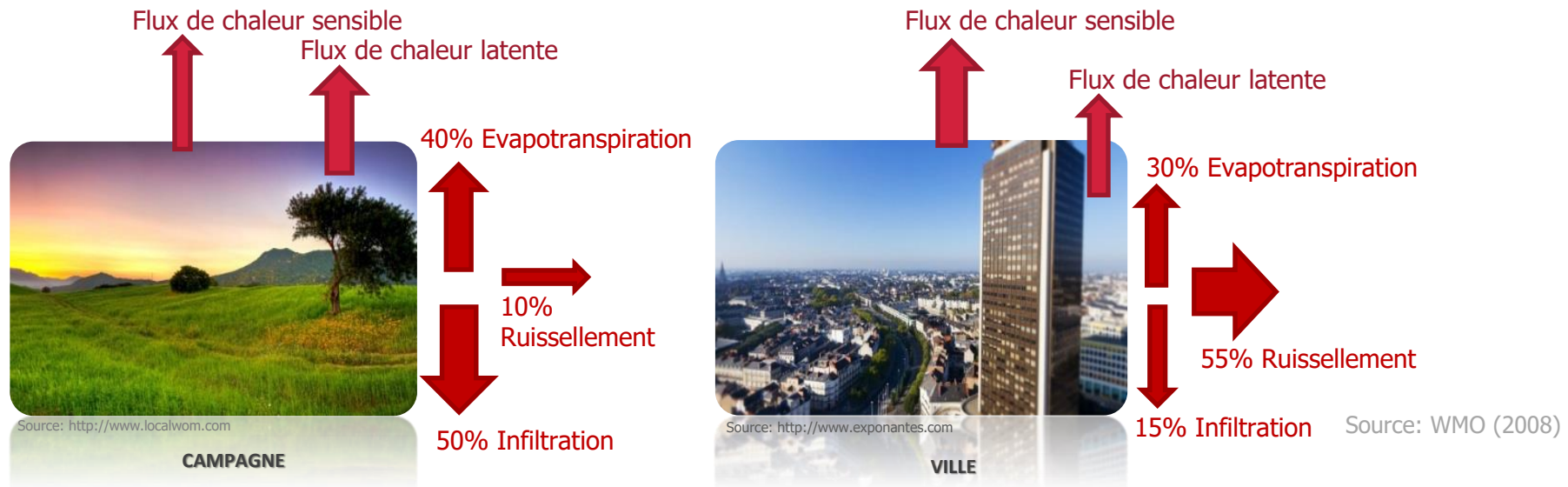
Source <http://www.wind-power-program.com/windestimates.htm>



Source <http://thebritishgeographer.weebly.com/urban-climates.html>

INTRODUCTION

Impacts de l'urbanisation croissante en termes de gestion des eaux pluviales



Surfaces imperméabilisées => cycle de l'eau perturbé

- Fréquence et intensité des crues et des étiages
- Recharge des nappes
- Pollution

PLAN

Quelques résultats sur l'impact des solutions fondées sur la nature sur le microclimat urbain et l'hydrologie urbaine

Fondamentaux de l'îlot de chaleur urbain et le contexte du changement climatique

Quelques notions de confort thermique

Qu'est-ce qu'une solution fondée sur la nature (SfN)?

Observations

- Impacts des noues sur la réponse hydrologique d'un bassin versant
- Impacts de la végétation sur la température de l'air

Modélisation

- microclimatique : scénarios idéalisés de végétalisation d'un quartier
- hydrologique : échelles du quartier et de la ville

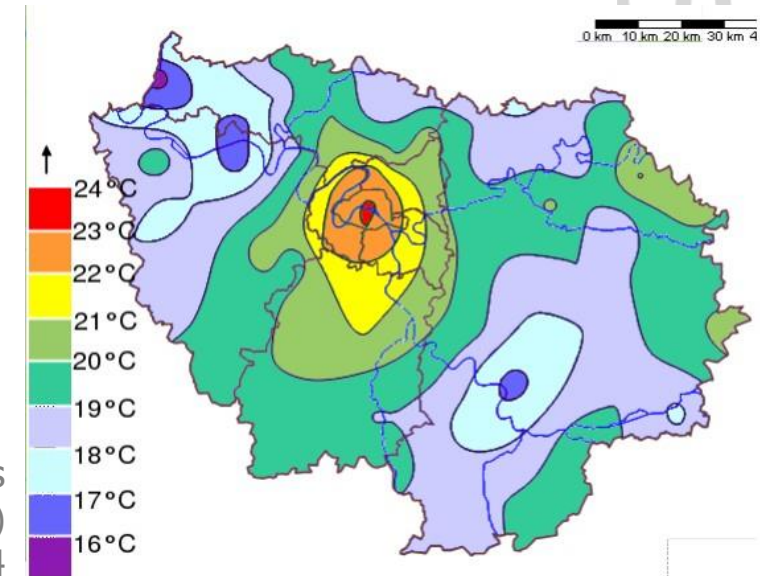
Autres références : parcs, toitures végétalisées

ILOT de CHALEUR URBAIN

A l'échelle de l'agglomération

- Différence de température de l'air entre la zone urbaine et les zones rurales alentours
- Phénomène plus fréquent et plus intense la nuit (phénomène inverse parfois le jour)
- Phénomène amplifié lors des épisodes de canicules
Jusqu'à 10°C d'écart pour les plus grandes agglomérations, la nuit.

Canicule 2003 : Îlot de chaleur nocturne mesuré à Paris
(moyenne de 15 nuits consécutives)
Source <https://www.umr-cnrm.fr/spip.php?rubrique134>



ILOT de CHALEUR URBAIN

Phénomène variable dans le temps et dans l'espace

Les paramètres qui influencent l'ICU

- Les matériaux des surfaces bâties (albédo : pouvoir réflechissant)
- La morphologie de la ville (hauteur des bâtiments, largeur des rues)
- La taille de l'agglomération
- La population
- Les conditions géographiques et climatiques (côte, montagne, ...)
- le type de quartier (urbain dense, résidentiel, commercial, ...)



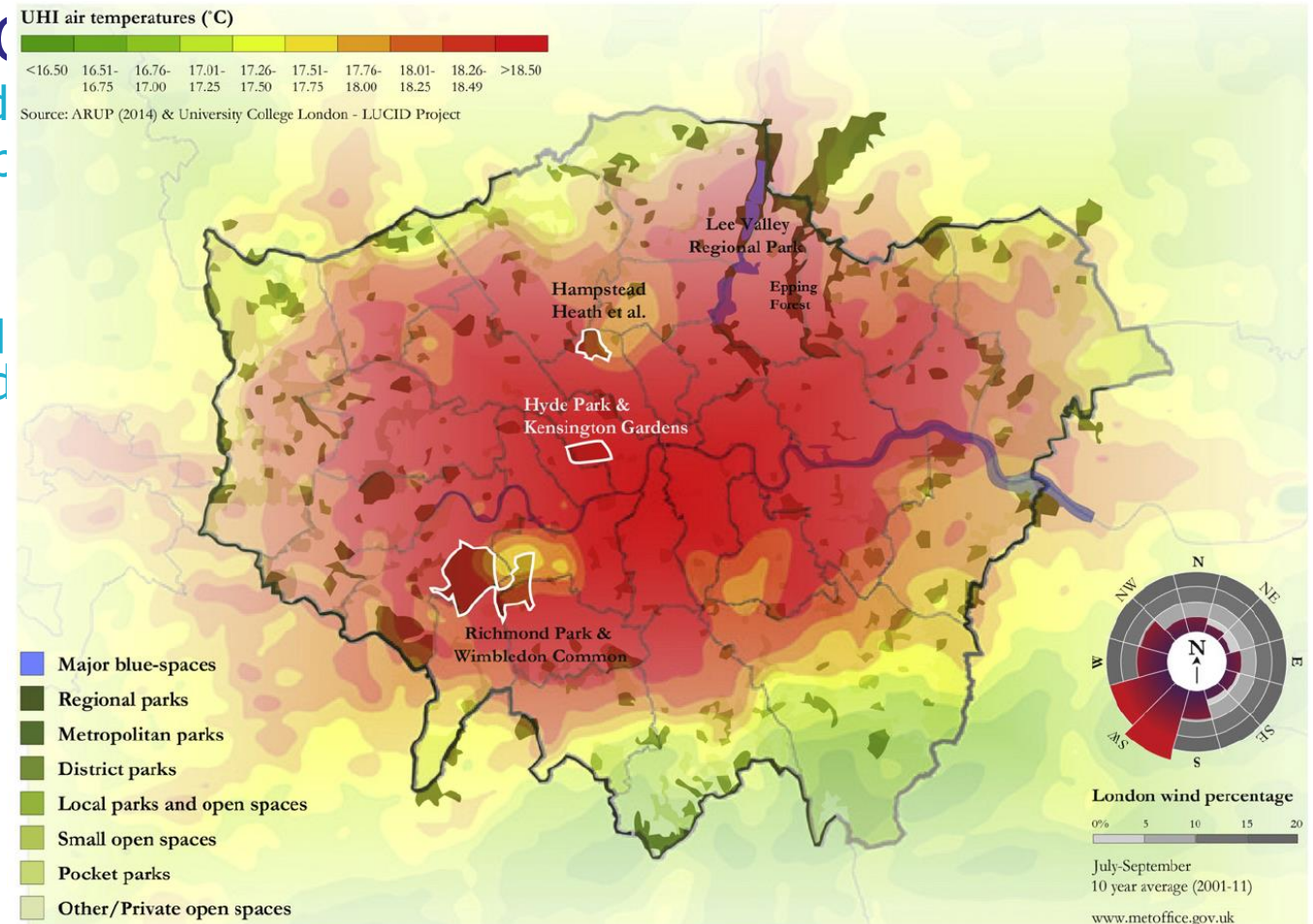
ÎLOT de CHALEUR URBAIN

Phénomène variable dans le temps et dans l'espace

Les paramètres qui influencent l'ICU

- Les matériaux des surfaces bâties (albédo)
- La morphologie de la ville (hauteur des bâtiments)
- La taille de l'agglomération
- La population
- Les conditions géographiques et climatiques
 - le type de quartier (urbain dense, résidentiel)

ICU moyen de Londres (juillet-septembre, 2001-2011) et ses principaux parcs et cours d'eau
Gunawardena et al, 2017



ÎLOT de CHALEUR URBAIN

Les conséquences

L'humidité relative, le brouillard et le gel sont limités

Le climat local peut aussi être modifié (vent, nuages, pluie, neige, ...)

Le régime des pluies est perturbé

La pollution peut être accentuée (ozone, particules)

Migration de petits animaux vers les zones urbaines (chauve-souris, gecko, insectes)

La végétation est impactée : périodes de croissance plus longues, conditions plus favorables pour certaines espèces d'arbres

Température des cours d'eau : baisse de la biodiversité, surmortalité des poissons (cas extrêmes)

Demande en énergie : augmentation l'été (climatisation, climats chauds), diminution l'hiver (chauffage, climats froids)

La santé : surmortalité (personnes fragiles), accentuation de certaines maladies (allergies, maladies respiratoires, ...)

ÎLOT de CHALEUR URBAIN

Vigilance

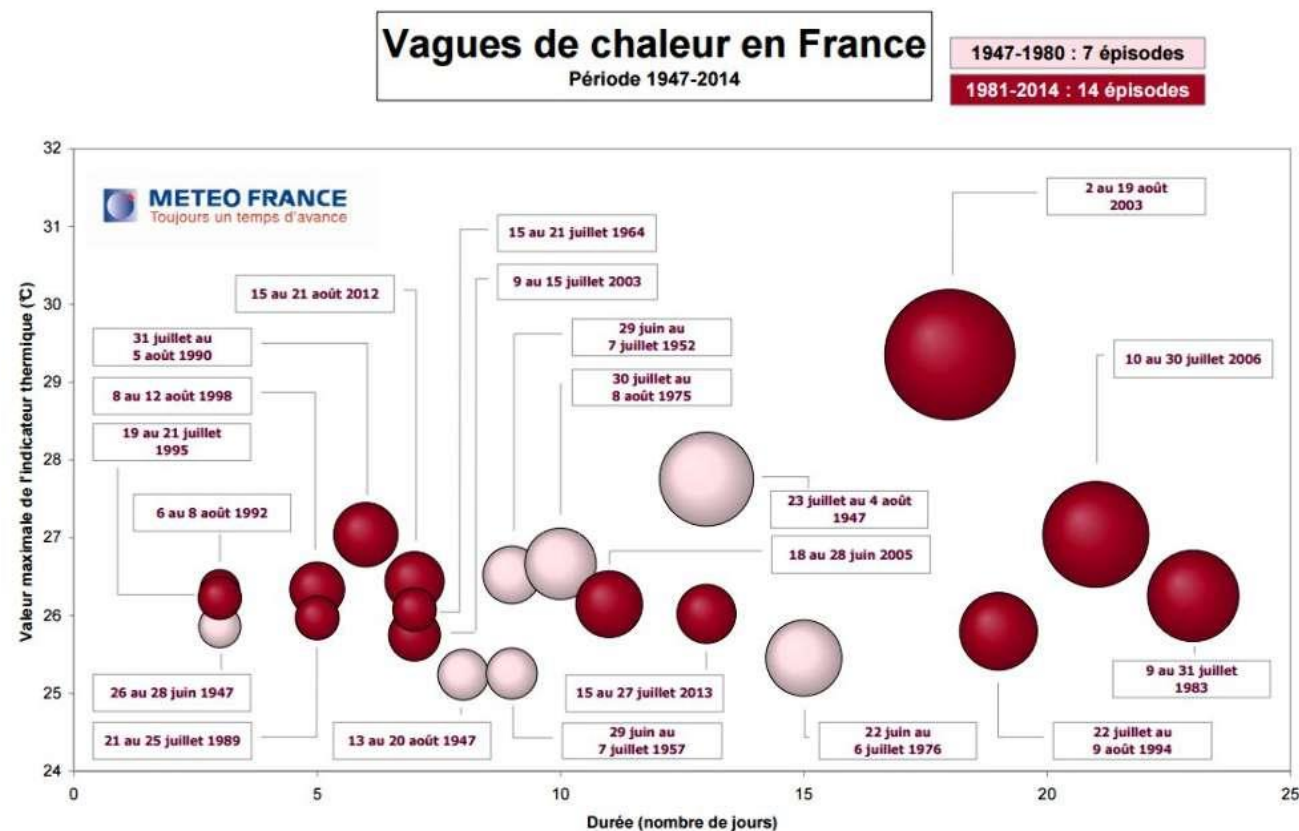
- Îlot de chaleur de surface \neq îlot de chaleur urbain
Ex: Publication de l'AURAN sur les ICU... à partir des températures de surface



Le CHANGEMENT CLIMATIQUE

Contexte

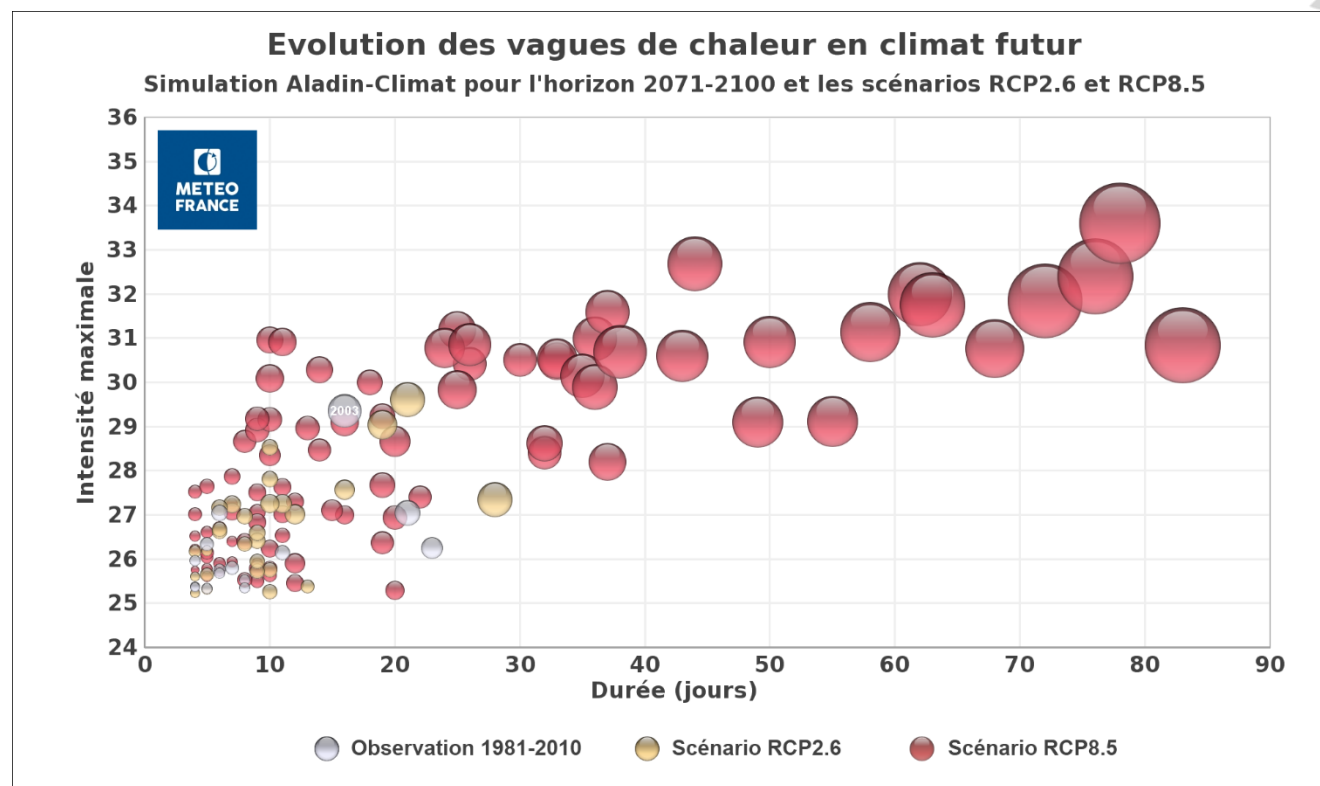
- ICU amplifié par vagues de chaleur



Le CHANGEMENT CLIMATIQUE

Contexte

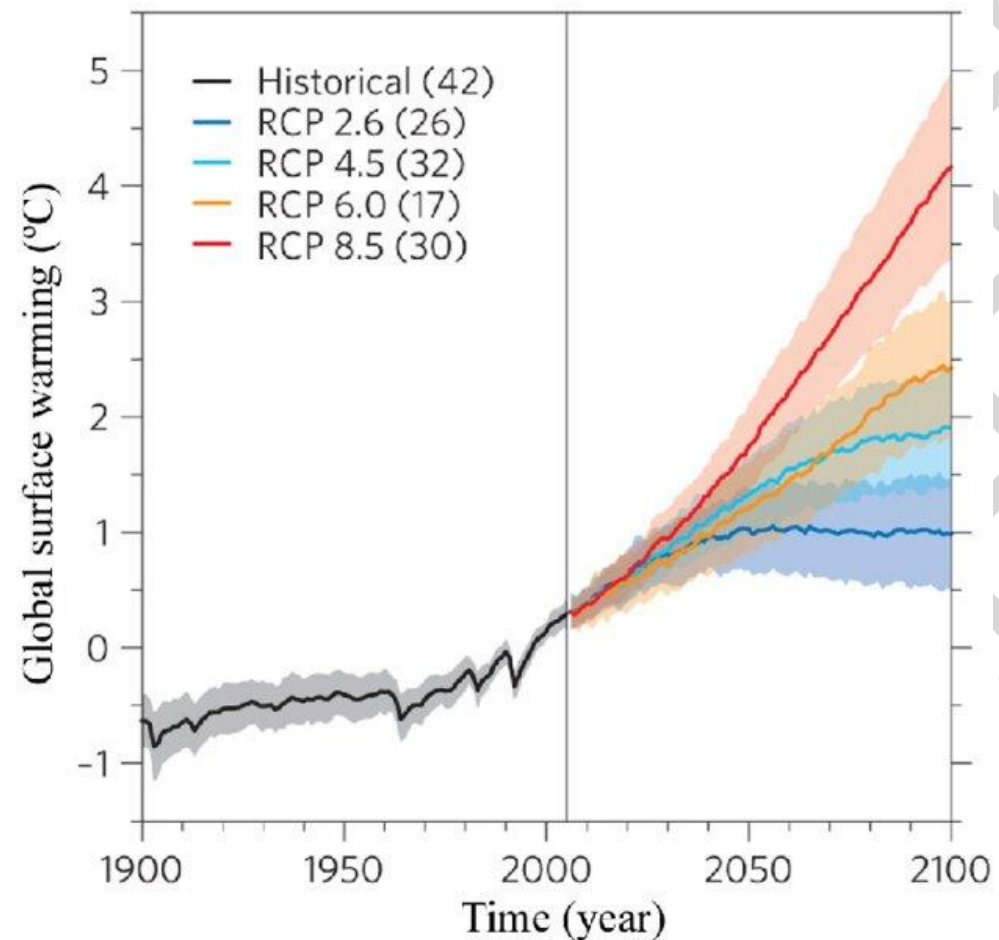
- ICU amplifié par vagues de chaleur
- Gestion des eaux pluviales en lien avec régimes de pluie



Le CHANGEMENT CLIMATIQUE

Contexte

- Dérèglement climatique
 - dû aux émissions de gaz à effet de serres émis par les activités humaines
- ≠ Variabilité climatique (naturelle)
- Hausse des températures à l'échelle du globe



Le CHANGEMENT CLIMATIQUE

Les incertitudes

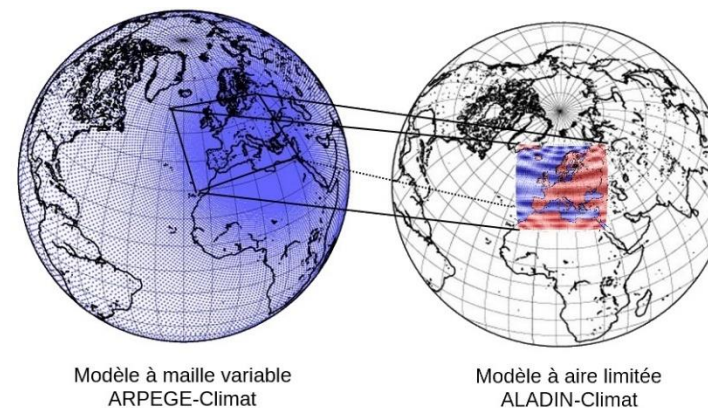
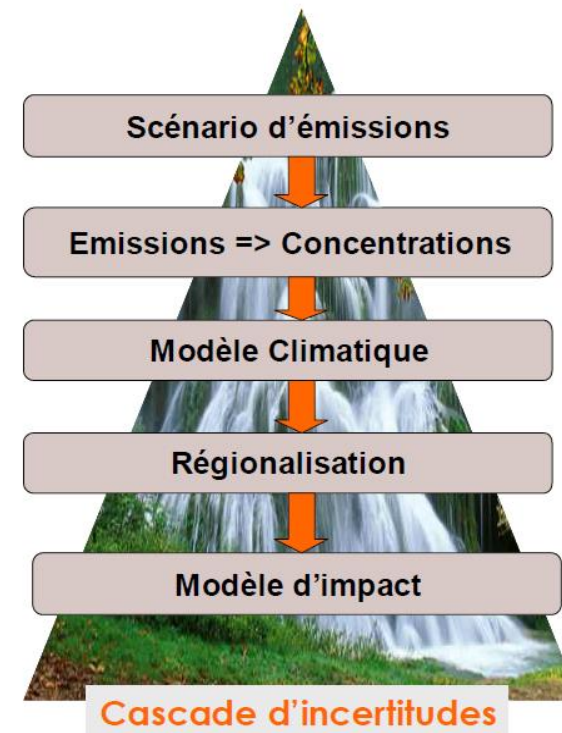
Effet cascade

Nécessité d'intégrer ces incertitudes

- Étudier plusieurs scénarios
- A partir de données simulées par plusieurs couples GCM-RCM

Portail DRIAS

- Sorties de modèles
- Indicateurs

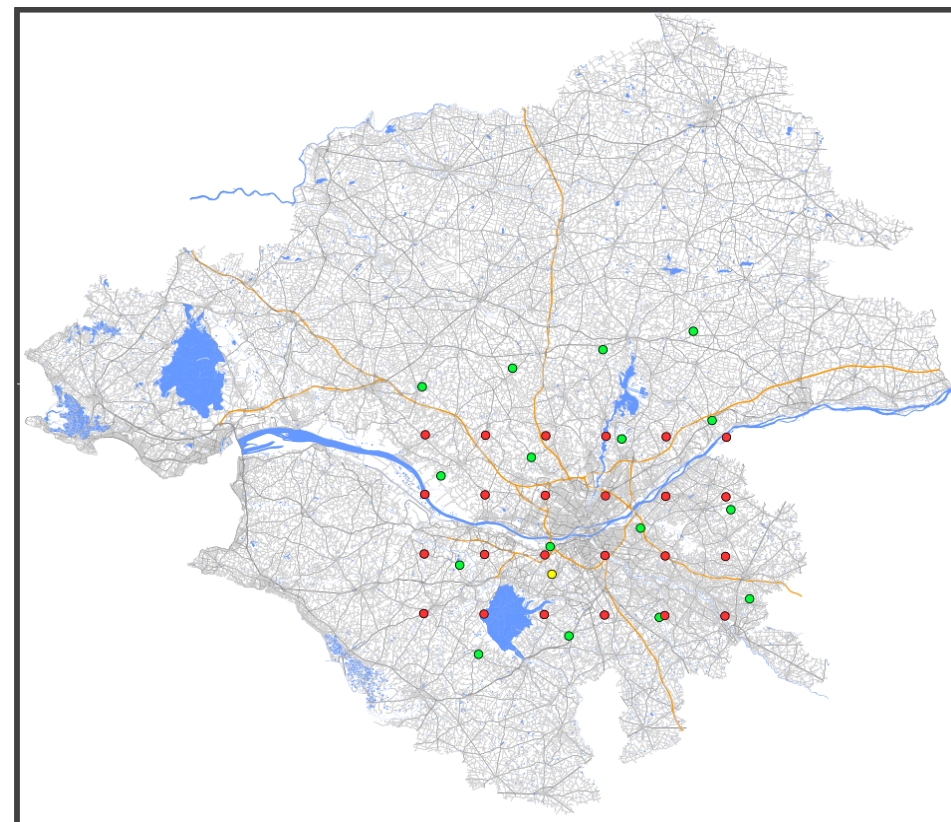


LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Dispersion des modèles : application sur la région nantaise

Méthodologie

- Portail DRIAS
- 24 points de grille (8km)
- 3 périodes
 - 1976-2005 (historique)
 - 2021-2050 (moyen terme)
 - 2071-2100 (long terme)
- 4 couples de modèles GCM-RCM
 - IPSL-WRF
 - IPSL-RCA4
 - CNRM-Aladin
 - CNRM-CLMCOM

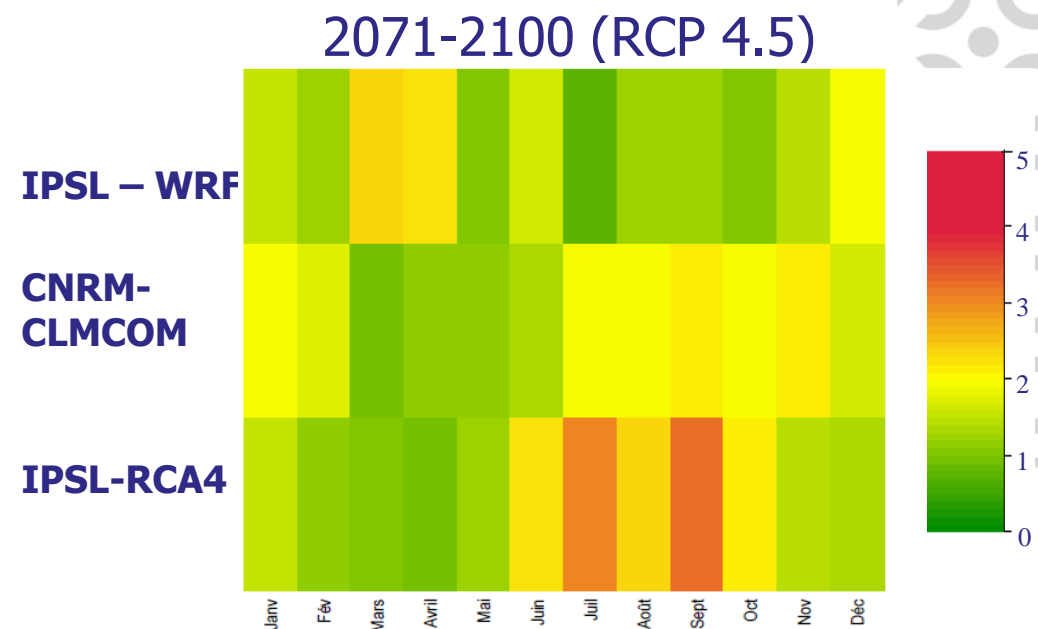


LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Dispersion des modèles : application sur la région nantaise

Synthèse des résultats : température (Z. Lotfi, K. Chancibault, M. Sabre -IRSTV)

- moyennes climatiques mensuelles (écart/hist.)
- Échelle mensuelle: différences selon modèle plus forte augmentation de température fin hiver ou durant été
- Tendances beaucoup plus marquées à long terme qu'à moyen terme

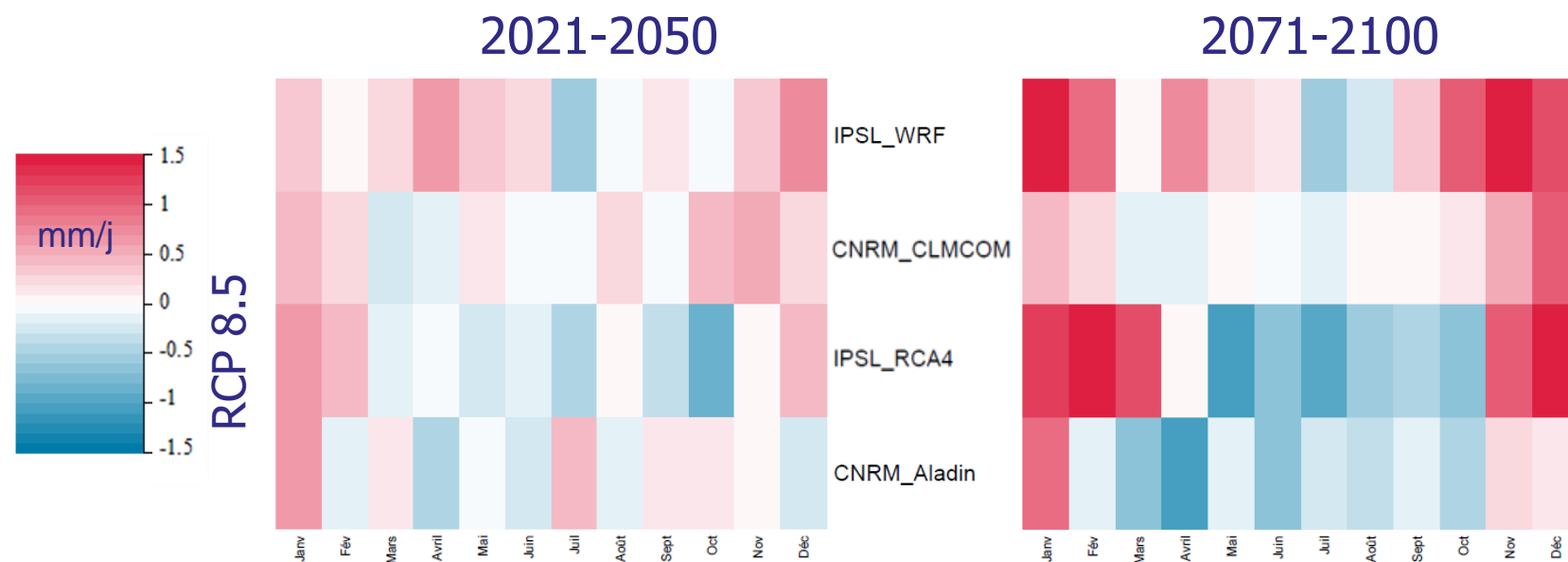


LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Dispersion des modèles : application sur la région nantaise

Synthèse des résultats : température (Z. Lotfi, K. Chancibault, M. Sabre - IRSTV)

- Moyennes mensuelles climatiques (anomalies, mm/j)



- Incertitudes liées aux modèles et aux périodes étudiées
- Forte incertitude saisonnière (moyen terme)
- Évolution des intensités des précipitations vers les extrêmes (non montré)

LE CONFORT THERMIQUE

Quelques notions

- Des enjeux de confort thermique jusqu'à des enjeux sanitaires, dans les bâtiments et à l'extérieur
- Une problématique très complexe à aborder car résultant de l'interaction de nombreux phénomènes avec la forme urbaine

- Une notion qui implique un bilan thermique du corps et des réactions physiologiques : elle dépend de l'environnement proche

Grande variabilité spatiale et temporelle

- Il faudrait connaître la température de toutes les surfaces (Température radiante moyenne = Température d'une surface qui générerait le même environnement radiatif, prend compte de la contribution de toutes les surfaces "vues" par le corps humain (parois, ciel, soleil...))
- Grande variabilité de perception des individus
- Cette notion est à bien différencier de celle d'ICU qui est à considérer à grande échelle, même si les phénomènes et certaines solutions d'adaptation sont les mêmes
- Des solutions encore peu documentées en termes d'impacts sur le confort thermique

Air chaud, vitesse d'air faible

Réflexion des surfaces, soleil

Rayonnement solaire

convection

Respiration

Rayonnement infrarouge

Surfaces chaudes

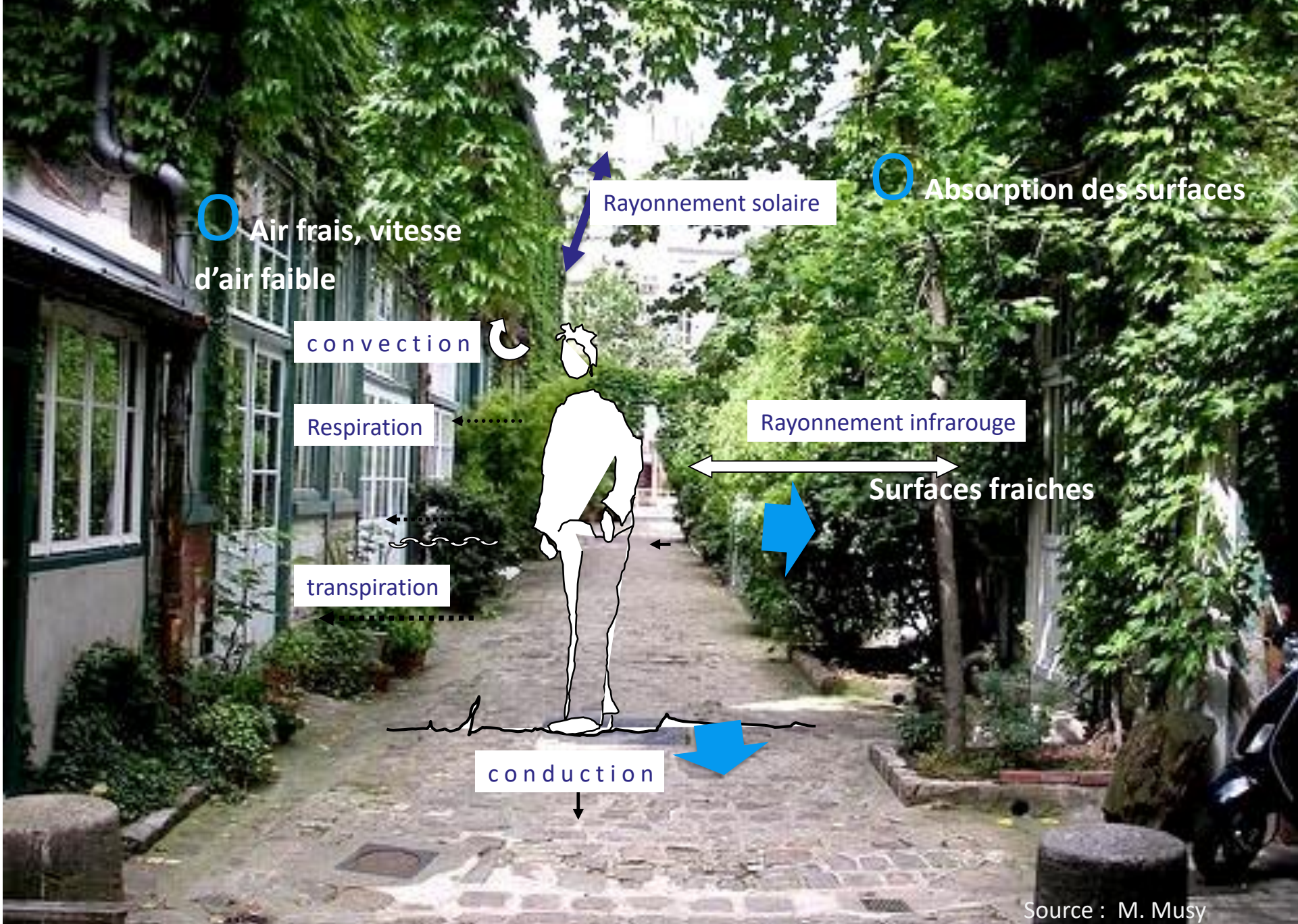
transpiration

conduction

Surfaces chaudes

Source : M. Musy
(d'après Sophie Moreau)

université
Stave Eiffel



○ Air frais, vitesse d'air faible

Rayonnement solaire

○ Absorption des surfaces

convection

Respiration

Rayonnement infrarouge

Surfaces fraîches

transpiration

conduction

Source : M. Musy (d'après Sophie Moreau)

Quelles solutions face à l'urbanisation et au changement climatique ?

Risques d'accroissement des effets de l'urbanisation à moyen et long terme, impacts sanitaires

- Solutions d'adaptation
 - Limiter les effets radiatifs, l'imperméabilisation
 - Modifier l'aérodynamique (les vents localement)
 - Augmenter l'évapotranspiration, l'infiltration, le stockage d'eau localement (gestion à la source)
- Solutions fondées sur la nature (techniques alternatives)



<https://luxdomus.lu/quest-ce-quune-toiture-vegetalisee-ou-green-roof/>



<https://www.c-ville.com/rain-gardens-lovely-way-protect-planet/>

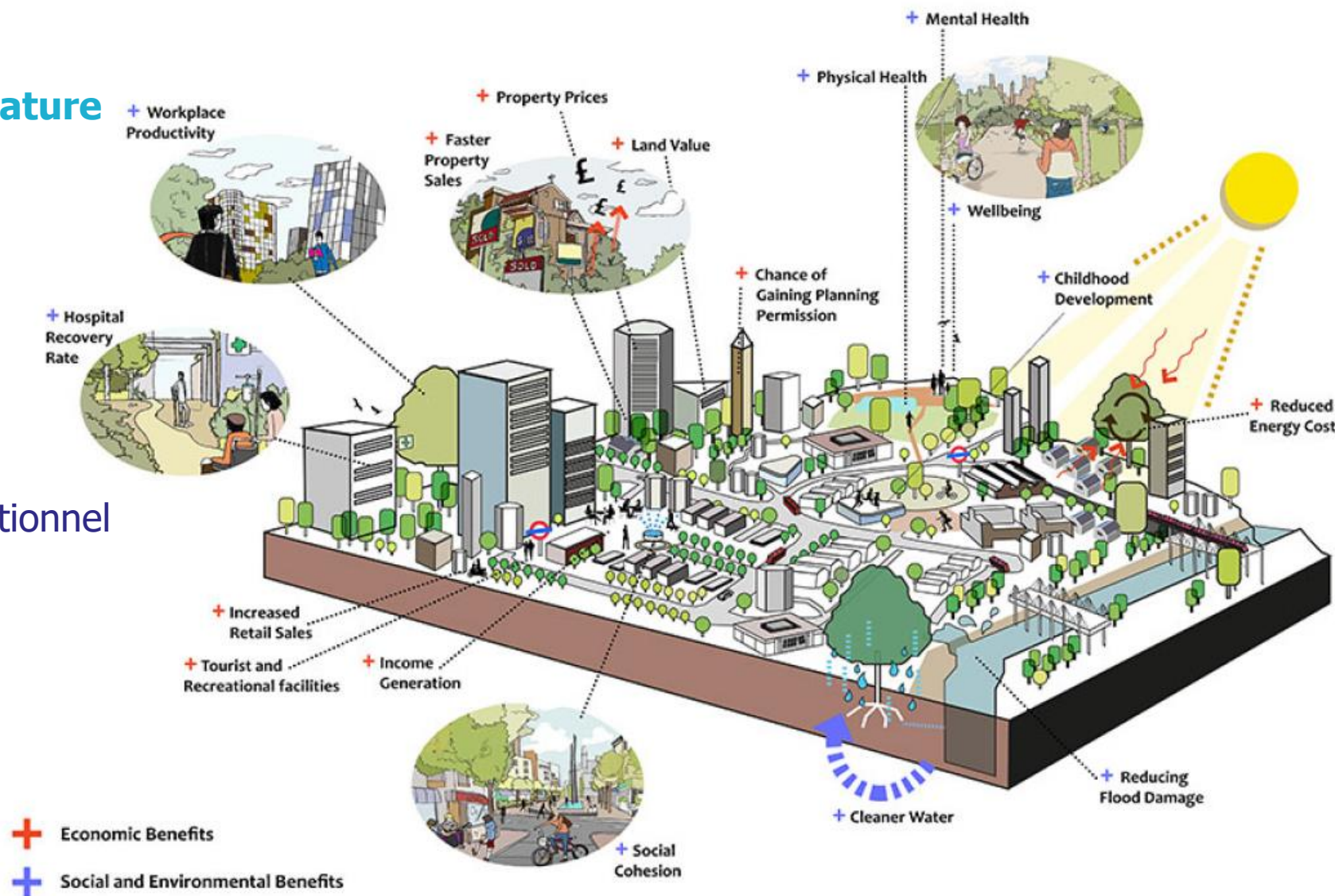


Noue Quartier Bottière-Chenaie (Nantes). Source LEE

Les SOLUTIONS FONDEES sur la NATURE (SfN)

Solutions fondées sur la nature

- Face aux incertitudes
- Par un caractère multifonctionnel
- Stratégies « sans regret »



Les SOLUTIONS FONDEES sur la NATURE (SfN)

Définitions (Projet Nature4Cities, H2020, Coord. Nobatek, M. Musy)

Les SfN : des « objets » ou des stratégies

- **basées sur des écosystèmes** et/ou sont des **solutions vivantes**
- utilisant les **caractéristiques physiques et processus de la nature**
- **améliorant la biodiversité**

Les SfN sont

- **construites et articulées à plusieurs échelles** : pensées à une échelle globale et adaptées localement, répondant à des contraintes actuelles mais résilientes aux changements.
- **compatibles avec et complémentaires** aux **concepts antérieurs** : services écosystémiques, infrastructure verte, développement durable

Les SfN sont :

- **une réponse forcément positive**
- **compatibles avec la technologie et l'intervention humaine**
- **De bon rapport coût global/bénéfices**
- **Basées sur des choix** stratégiques et politiques (en comparaison d'un optimum calculé)

**Nature et vie
au coeur de la
solution**

**Une approche
systémique**

**Un concept
opérationnel**

Les SOLUTIONS FONDEES sur la NATURE (SfN)

Catalogue de SfN (PROJET Nature4Cities (M. Musy, Cerema – IRSTV))

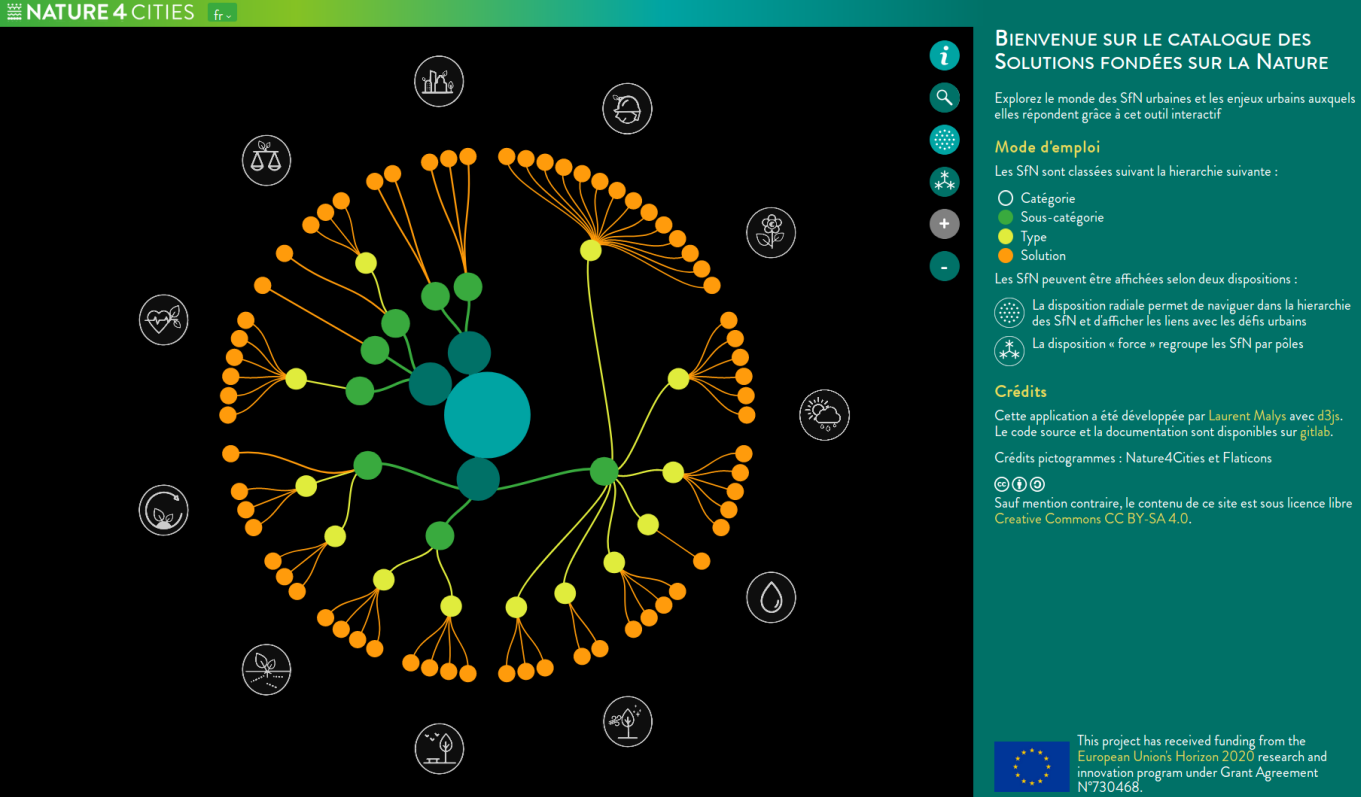
<https://www.nature4cities.eu/>

Projet pluridisciplinaire

- 4 villes pilotes
- Modèles d'expert existants
- Outil d'aide à la décision

Catalogue de solutions fondées sur la nature

- <https://nbs-explorer.nature4cities-platform.eu/>



NATURE 4 CITIES fr

BIENVENUE SUR LE CATALOGUE DES SOLUTIONS FONDEES SUR LA NATURE

Explorez le monde des SfN urbaines et les enjeux urbains auxquels elles répondent grâce à cet outil interactif

Mode d'emploi

Les SfN sont classées suivant la hiérarchie suivante :

- Catégorie
- Sous-catégorie
- Type
- Solution

Les SfN peuvent être affichées selon deux dispositions :

- La disposition radiale permet de naviguer dans la hiérarchie des SfN et d'afficher les liens avec les défis urbains
- La disposition « force » regroupe les SfN par pôles

Crédits

Cette application a été développée par Laurent Malys avec d3.js. Le code source et la documentation sont disponibles sur [gitlab](#).

Crédits pictogrammes : Nature4Cities et FlatIcons

© ⓘ ⓘ
Sauf mention contraire, le contenu de ce site est sous licence libre Creative Commons CC BY-SA 4.0.

This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation program under Grant Agreement N°730468.

Observations sur le territoire nantais - ONEVU

Fonctionnement hydrologique d'une noue sur l'éco-quartier Bottière Chénaie (F. Rodriguez, Univ. Eiffel/LEE)



Noue Quartier Bottière-Chénaie (Nantes). Source LEE

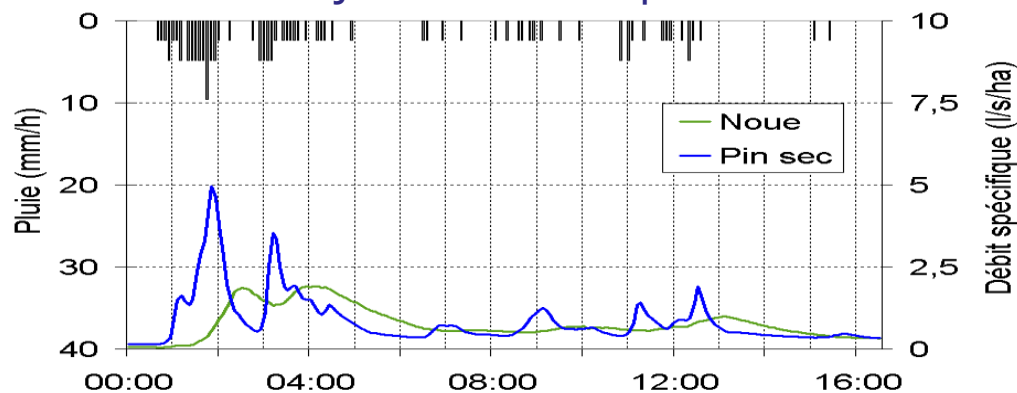


BV Pin Sec
Type: Résidentiel
Surface: 31 ha, Cimp = 45%

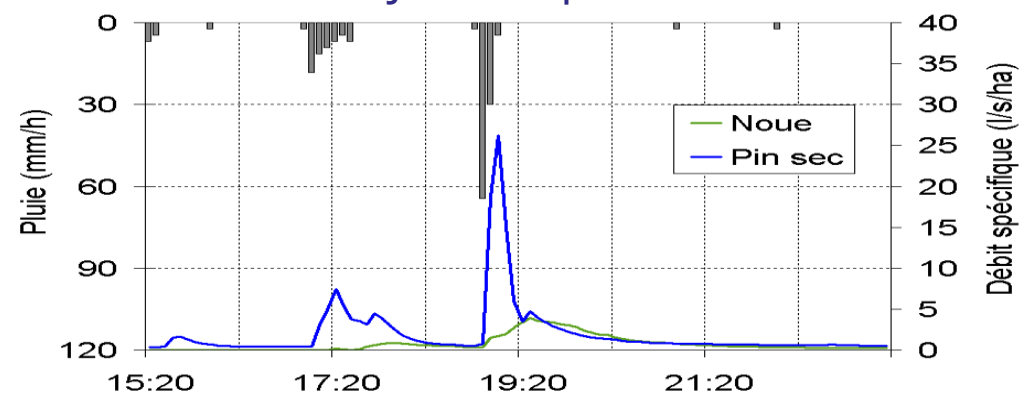
Écoquartier Bottière-Chénaie
Type: Résidentiel
Surface: 1,7 ha, Cimp = 74%



Ev du 06 janvier 2014 - Hp= 15 mm



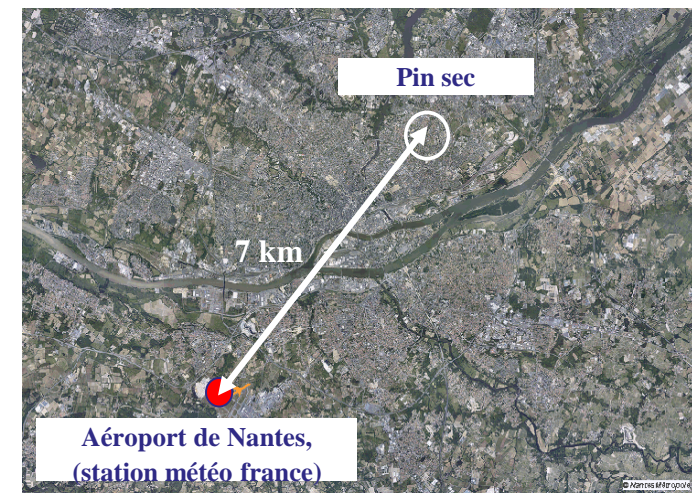
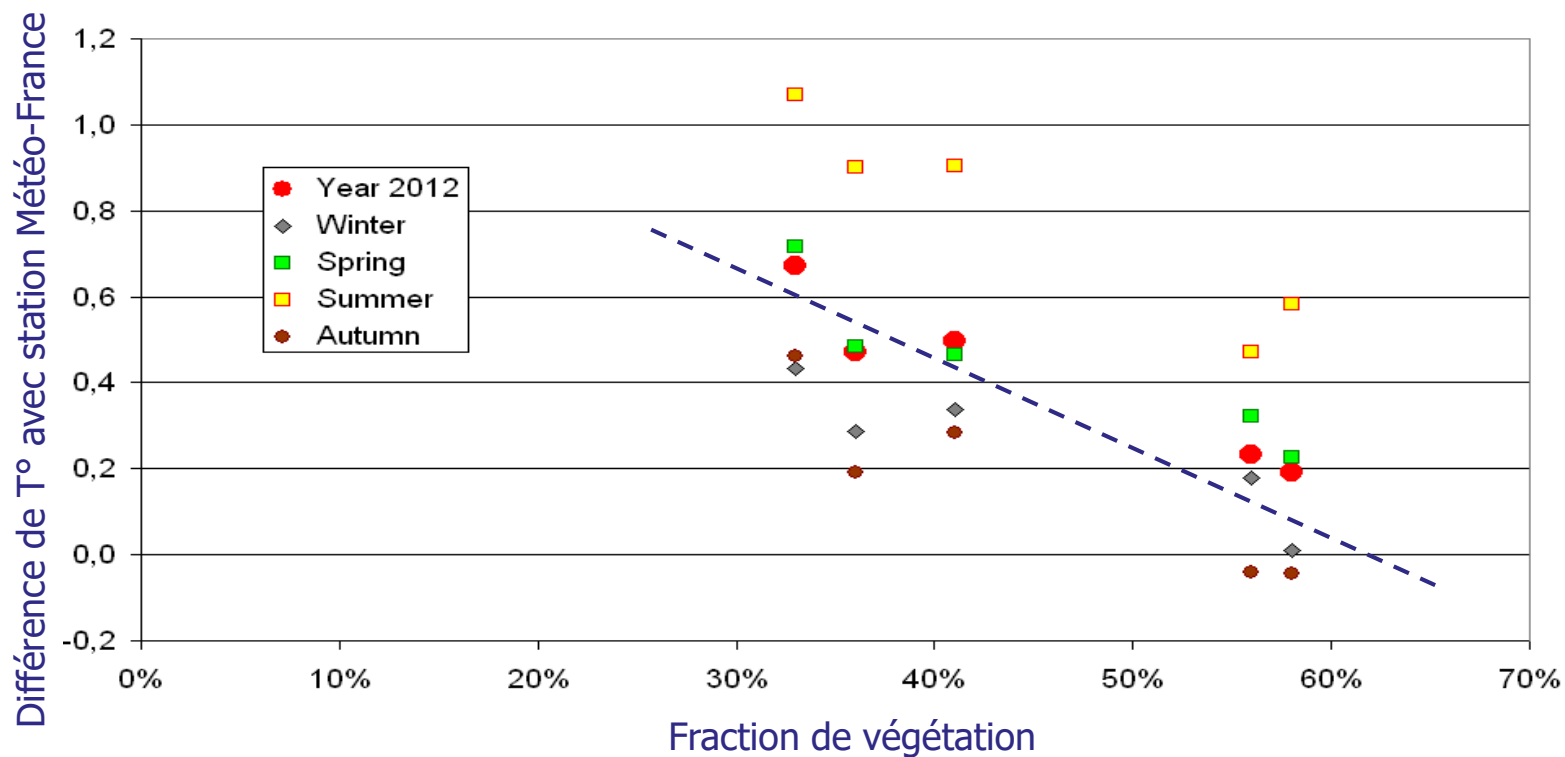
Ev du 08 juillet - Hp= 15 mm



Comparaison à l'aide du débit spécifique (l/s/ha) : (débit/Surface du bv)

Observations sur le territoire nantais (Projet VegDUD (ANR, 2010-2013))

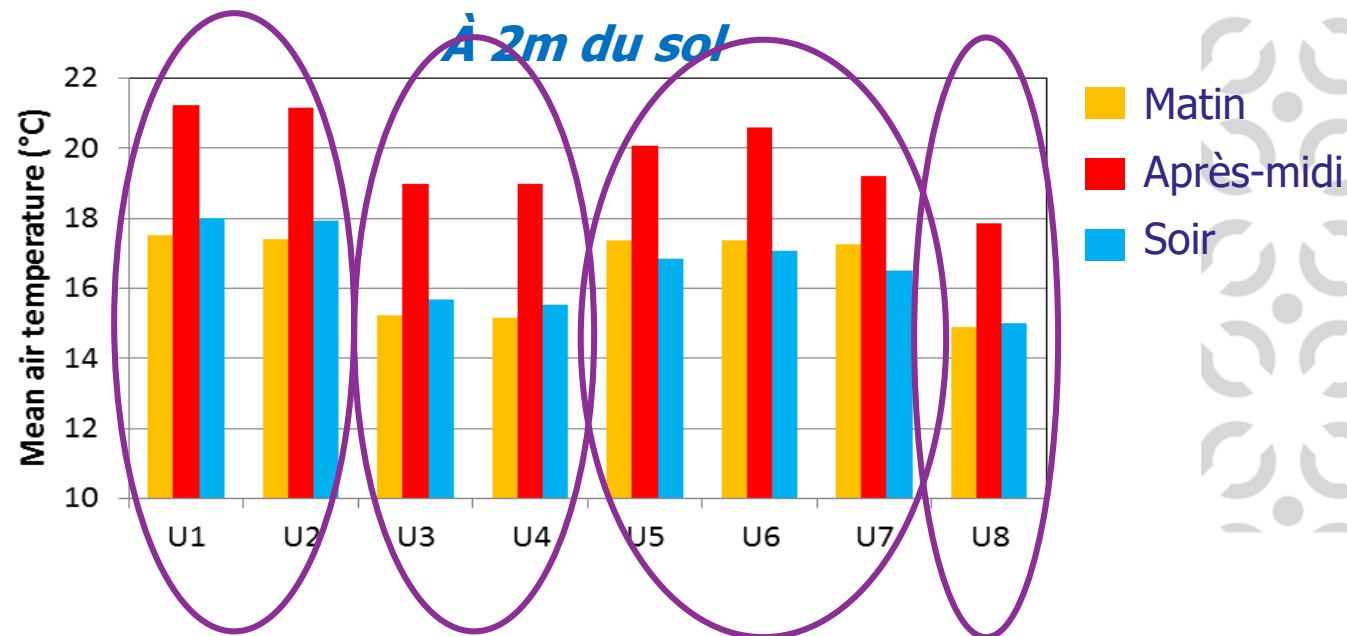
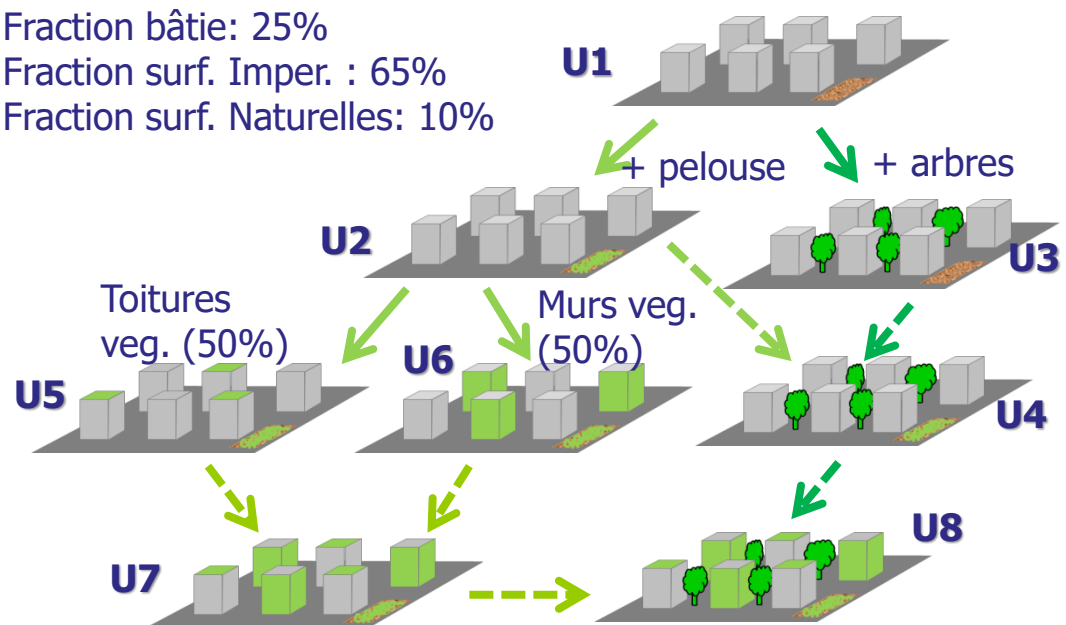
Réseau de mesures TRH (température) – année 2012 (F. Rodriguez, Univ. Eiffel/LEE)



Modélisation (Projet VegDUD (ANR, 2010-2013))

Scénarios idéalisés de la canopée (I. Calmet, Centrale Nantes)

Fraction bâtie: 25%
Fraction surf. Imper. : 65%
Fraction surf. Naturelles: 10%

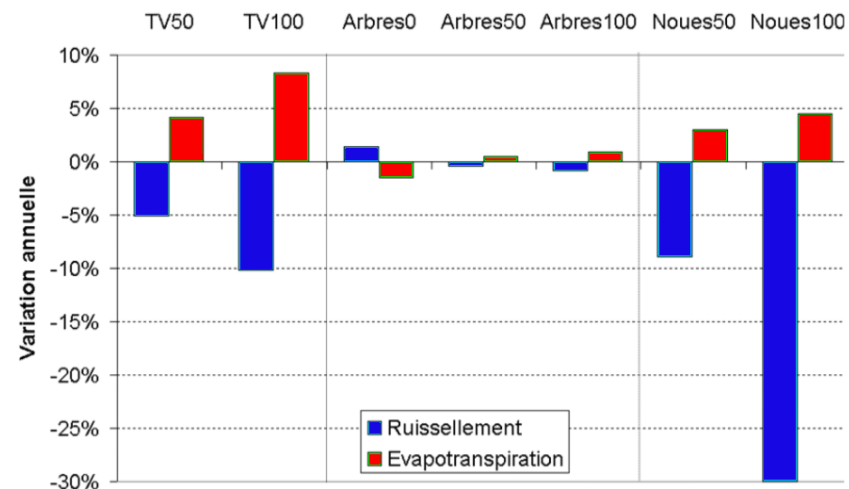
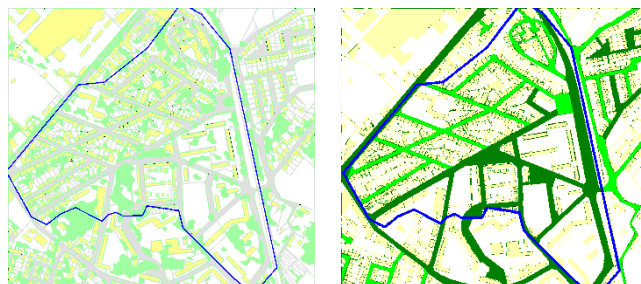


- Air plus chaud pour les scénarii sans végétation
- Végétation sur le bâti contribue au rafraîchissement de l'air l'après-midi
- Les arbres sont plus efficaces grâce à l'effet d'ombre
- Combiner arbres et végétation sur les bâtiments : régulation de température la plus forte

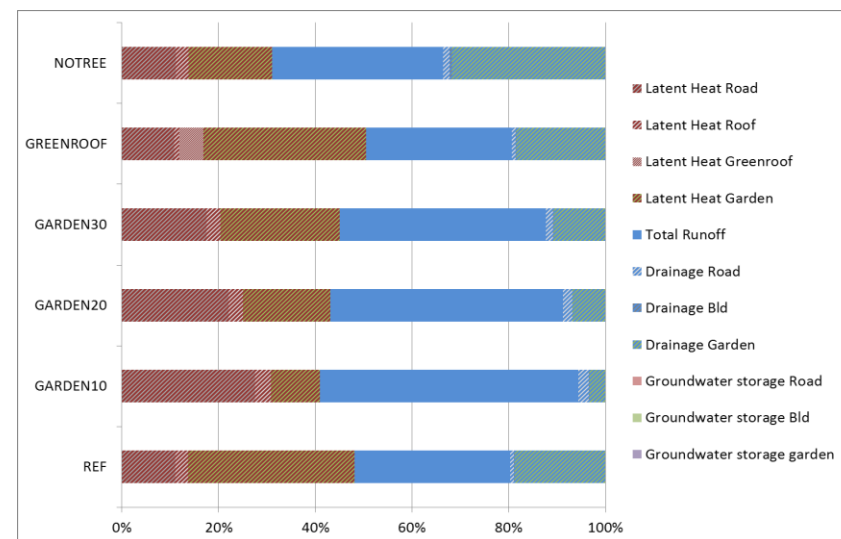
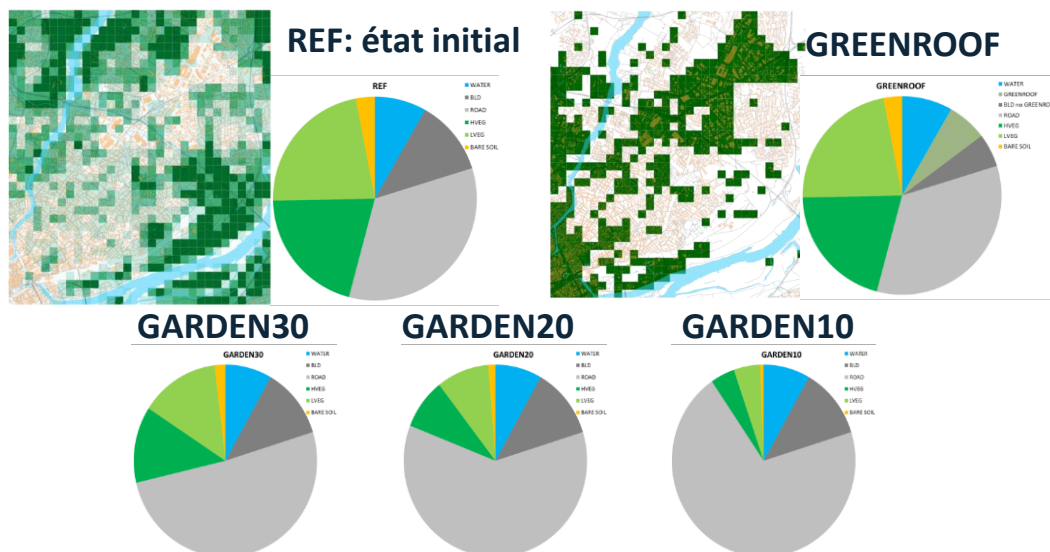
Modélisation (Projet VegDUD (ANR, 2010-2013))

Modélisation hydrologique (Univ. Eiffel)

- Echelle du quartier
Modèle URBS
(F. Rodriguez)



- Echelle de la ville : modèle TEB-Hydro (K. Chancibault)



Performance des Toitures végétalisées

Littérature

Toiture verte intensive (parc) sur un centre commercial, Porto, Portugal
© European Federation of Green Roof Associations (EFB)

A l'échelle de la toiture

- Les toitures extensives de sedum, mal couvertes par les plantes, ont un faible refroidissement par évapotranspiration.
- Les toitures intensives permettent un rafraichissement de l'air qui se limite en général à 1m autour de la toiture.

A l'échelle de la ville

- La majorité des travaux concluent que l'effet d'atténuation de l'ICU au niveau des piétons est négligeable dans tous les climats étudiés (Taleghani, 2018) (Susca, 2019)



Performances des Parcs arborés et/ou enherbés

Effets dans le parc (PROJET Nature4Cities (M. Musy, Cerema –IRSTV))

- Plus la couverture arborée est importante, plus les parcs sont frais.
- La taille du parc est corrélée à l'effet de rafraîchissement. La relation n'est pas linéaire, et certains auteurs font apparaître une taille seuil à partir de laquelle il n'y a plus d'effet supplémentaire.
- La forme du parc : les petits parcs de forme allongée et irrégulière ont peu d'effet de rafraîchissement

Ordres de grandeur

- Göteborg en Suède : $D_{\text{tair-max}} = 5,9^{\circ}\text{C}$
(Konarska et al., 2016)
- Parc Olympique de Pékin
- zones enherbées non irriguées $D_{\text{tair-max}} = 0,15^{\circ}\text{C}$
- zones enherbées, irriguées $D_{\text{tair-max}} = 0,7 \text{ à } 1,2^{\circ}\text{C}$
- zones arborées $D_{\text{tair-max}} = 4,2^{\circ}\text{C}$
(Amani-Beni et al., 2018)



Parc des Grands Moulins à Paris

Performances des Parcs arborés et/ou enherbés

Effets au-delà du parc

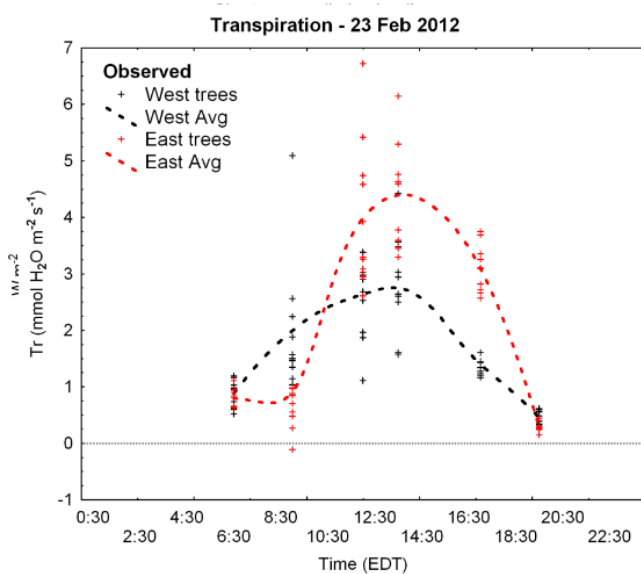
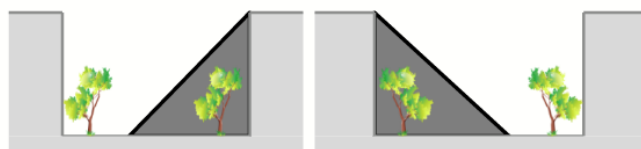
- Couverture arborée : une étude sur Londres montre que la distance de rafraîchissement est corrélée à la couverture arborée, son intensité est corrélée à la couverture basse
- Taille du parc : Dans la majorité des études, la taille du parc est positivement corrélée avec l'intensité du rafraîchissement de l'environnement.
- Forme du parc : l'effet de rafraîchissement est généralement plus intense et plus étendu dans la direction de la plus grande épaisseur du parc.

Ordres de grandeur

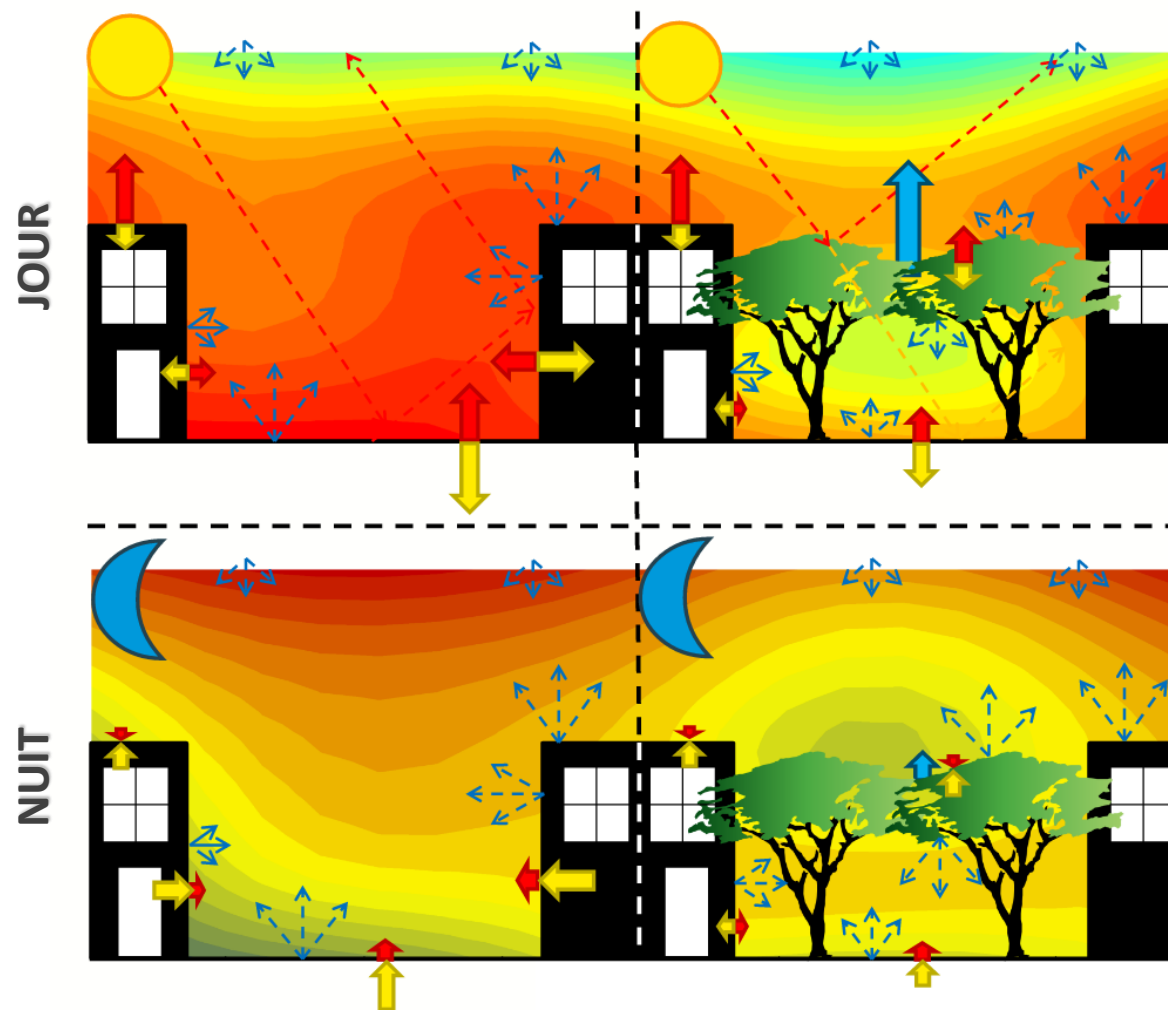
- Göteborg en Suède : distance d'effet = 1,1 km (Konarska et al., 2016)
- Mexico, distance d'effet = 2km (Yu et al., 2020)
- Singapour : différence de 1,3°C mesurée en moyenne autour des parcs (Wong & Yu, 2005).

Performances des arbres de rue

Impact des arbres sur le microclimat en milieu urbain (Coutts, 2015, ICUC)



Coutts, Gebert, Tapper, (2014)

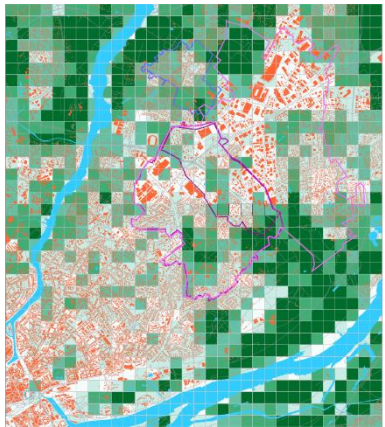


PROJET Nature4Cities : solutions fondées sur la nature (M. Musy, Cerema –IRSTV)

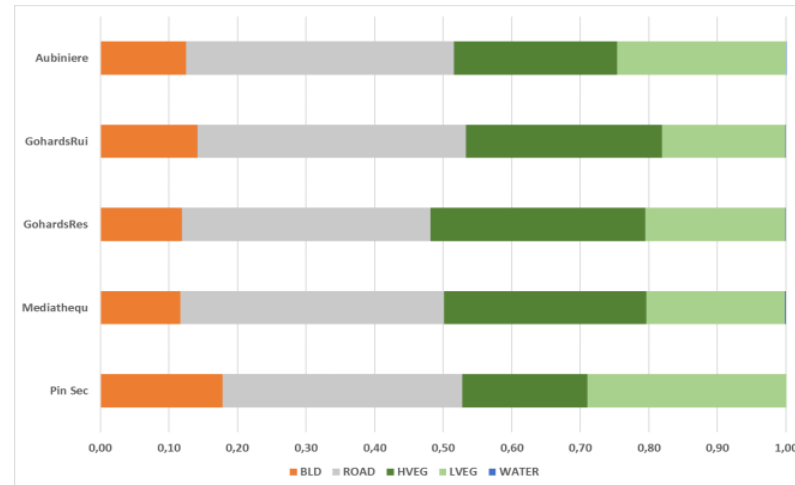
<https://www.nature4cities.eu/>

Projet pluridisciplinaire 4 villes pilotes

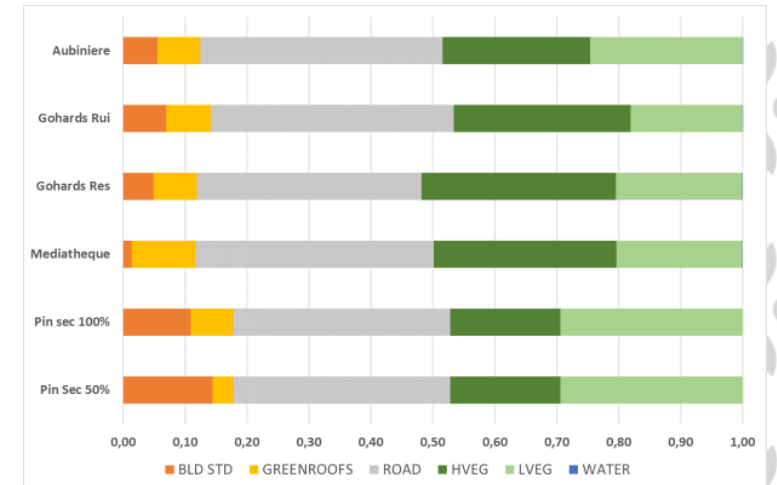
- Modèles d'expert existants
- Outil d'aide à la décision



Fraction de végétation



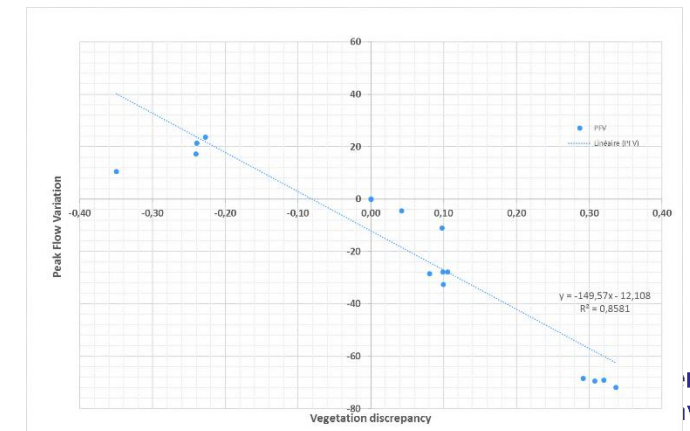
Etat actuel



Scénario greenroof

- Simplification à partir de simulations de plusieurs scénarios sur plusieurs BV
- $PFVar = f(\Delta\%veg)$
- Outil en cours d'évaluation

<https://www.nature4cities.eu/>



CONCLUSION

Urbanisation et changement climatique

- Microclimat
- Cycle de l'eau

Solutions d'adaptation nécessaires

- Solutions fondées sur la nature (solutions parmi d'autres)
 - Diverses
 - Multifonctionnelles (potentiellement « sans regret »)
 - Confort thermique
 - Gestion des eaux pluviales
 - ...
 - Intérêt face aux incertitudes quant aux évolutions futures
- Combiner les solutions (arbres, parcs, jardins de pluie, toitures végétalisées, continuité écologique, ...)
- Prendre en compte l'enjeu de la ressource en eau (évapotranspiration vs rafraîchissement)

CONCLUSION

A paraître mai 2021 - ADEME



Katia Chancibault

Katia.chancibault@univ-eiffel.fr

