

# Apport de la végétation et des solutions fondées sur la nature

Adaptation au changement climatique et co-bénéfices en milieu urbain

CTT Gestion des eaux pluviales

Cerema Est

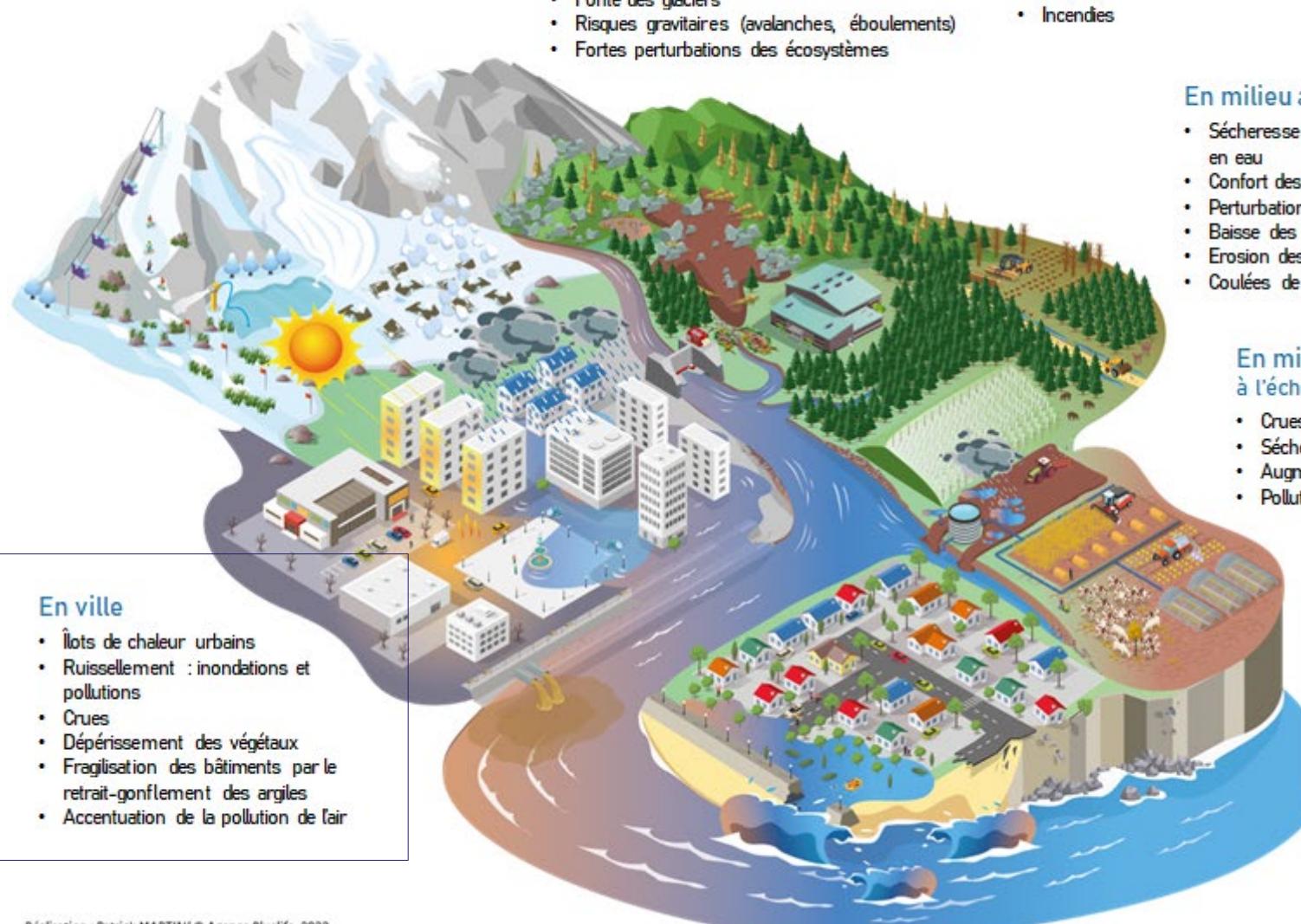
6 Novembre 2025

# SOMMAIRE

- Contexte : enjeux sociaux et changement climatique
- Végétalisation et solutions fondées sur la nature
- Fonctions écologiques, services écosystémiques et cobénéfices
- L'évaluation des bénéfices associés auxSaFN : démonstrateurs territoriaux et apport de la recherche

# Contexte et enjeux

# CHANGEMENT CLIMATIQUE ET ENJEUX D'ADAPTATION



Réalisation : Patrick MARTIN/ © Agence Bluelife, 2022

# LE PNACC 3

## Les SfN au cœur de la stratégie nationale d'adaptation



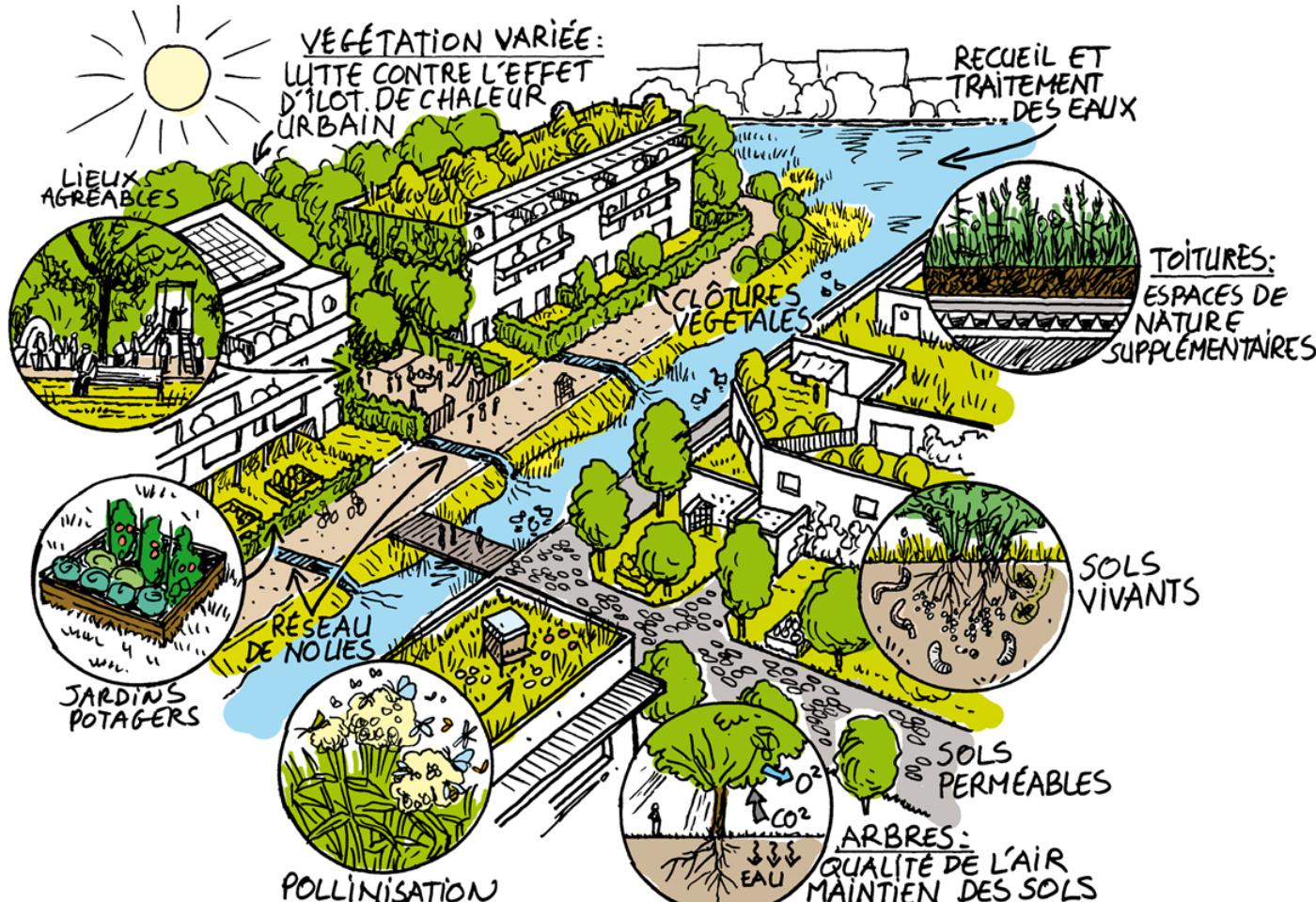
*... parmi les 52 mesures*

### **Mesure 20**

Déployer les solutions fondées sur la Nature (SFN) pour l'adaptation

# Végétalisation et solutions fondées sur la nature

# VILLE PERMÉABLE, VILLE VÉGÉTALE



## Désimperméabiliser

Suppression du matériau de recouvrement imperméable d'un sol ou remplacement de ce dernier par un autre matériau, perméable afin d'améliorer, voire restaurer, la perméabilité hydrique d'un sol.

## Végétaliser

Actions ou opérations de restauration d'un espace peuplé de végétaux, ayant entre autres pour objectif de bénéficier des services rendus par les écosystèmes.

## Renaturer

Retour à l'état naturel ou semi-naturel des écosystèmes qui ont été dégradés, endommagés ou détruits par les activités humaines, par restauration ou d'amélioration de la fonctionnalité d'un sol.

- Retrouver les fonctions de la nature
- Bénéficier des services qu'elle nous rend

# LA VILLE PERMÉABLE ET VÉGÉTALE



**"Actions visant à protéger, gérer de manière durable et restaurer des écosystèmes naturels ou modifiés pour relever directement les défis de société de manière efficace et adaptative, tout en assurant le bien-être humain et en produisant des bénéfices pour la biodiversité"**

- Repose sur la notion de services écosystémiques
- Un écosystème dit "fonctionnel" améliore la résilience du territoire

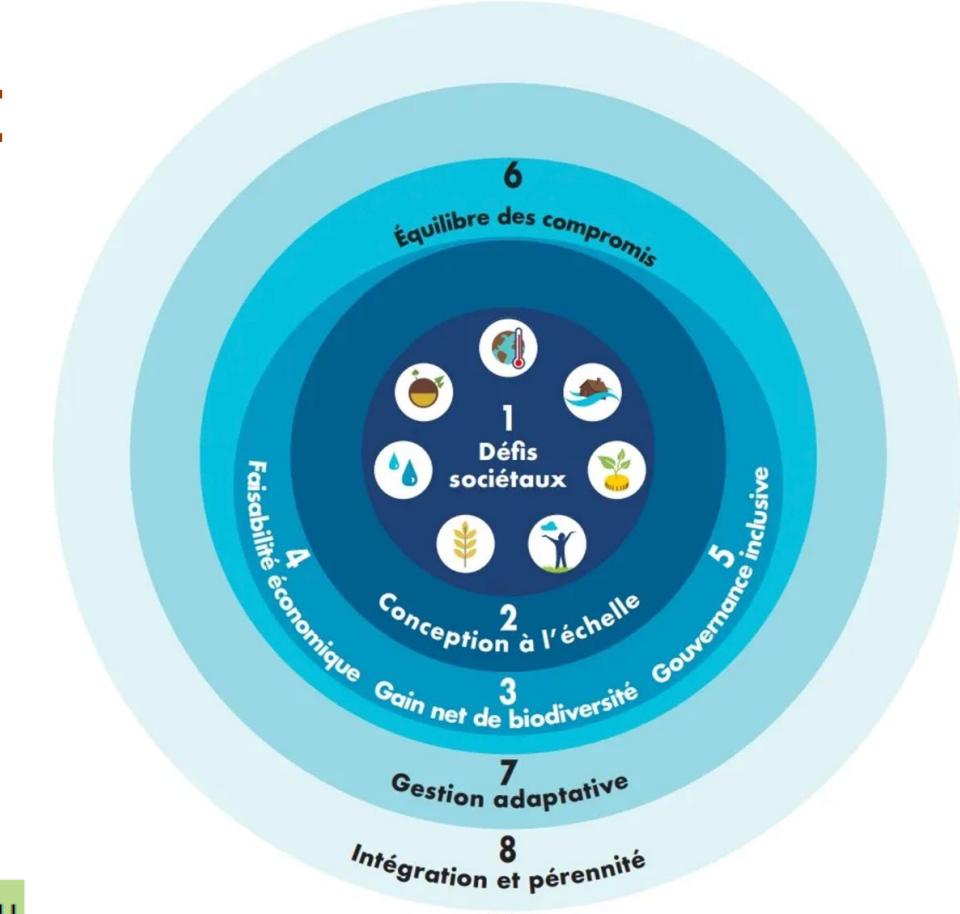
# LES SOLUTIONS FONDÉES SUR LA NATURE



Standard mondial de l'IUCN pour les solutions fondées sur la nature

Cadre accessible pour la vérification, la conception et la mise à l'échelle des SFN  
Première édition

UNION INTERNATIONALE POUR LA CONSERVATION DE LA NATURE



© IUCN

**8 critères et 28 indicateurs** précisent les éléments à inclure dans une SFN au niveau de la planification territoriale, de son design et de sa mise en œuvre

1. Répond efficacement à un défi de société
2. Se place à une échelle pertinente
3. Procure des avantages nets à la biodiversité
4. Est économiquement viable
5. Repose sur une gouvernance inclusive, transparente et habilitante
6. Trouve un équilibre entre réalisation des objectifs et prestation de co-avantages multiples
7. Est géré de façon adaptive, sur la base de données probantes
8. Est durable

Prérequis pour financements !

# EXEMPLE POUR UN PROJET D'AMENAGEMENT 'TYPE'

Selon vous, cette **action** est-elle compatible avec le concept de SfN ?

- Oui ?
- Non ?

## Végétalisation d'une cour d'école

Double objectif :

- *Bien-être humain pour les élèves et les habitants*
- *Contribution à la baisse de la température urbaine*



# RÉPONSE(S)

Selon vous, cette **action** est-elle compatible avec le concept de **SfN** ?

**OUI...**

## ACTIONS BASÉES SUR LE FONCTIONNEMENT DES ÉCOSYSTÈMES

- ✓ Création d'écosystèmes fonctionnels plus ou moins complexes

## RÉPOND À UN DÉFI SOCIÉTAL IDENTIFIÉ SUR LE TERRITOIRE

- ✓ Ilots de fraîcheur, baisse de la température locale

# RÉPONSE(S)

Selon vous, cette **action** est-elle compatible avec le concept de SfN ?

**...MAIS PAS SYSTÉMATIQUEMENT...**

**OUI**

## BÉNÉFICES POUR LA BIODIVERSITÉ

- ✓ Part d'un plan d'urbanisme de revégétalisation de la ville avec des cours d'écoles végétalisées et d'autres infrastructures vertes pour augmenter l'intégrité et la connectivité des écosystèmes

**NON**

## BÉNÉFICES POUR LA BIODIVERSITÉ

- ✗ Point vert au milieu d'un paysage très urbanisé
- ✗ Espèces envahissantes ou exotiques

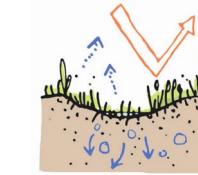
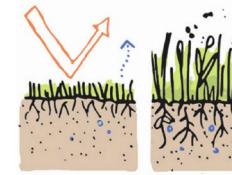
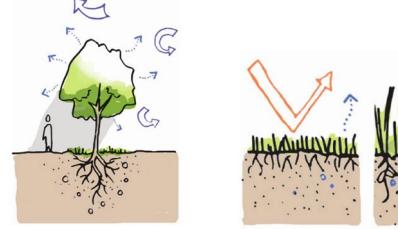
# Les bénéfices et services rendus

# RAFRAÎCHISSEMENT URBAIN ET AUTRES CO BÉNÉFICES



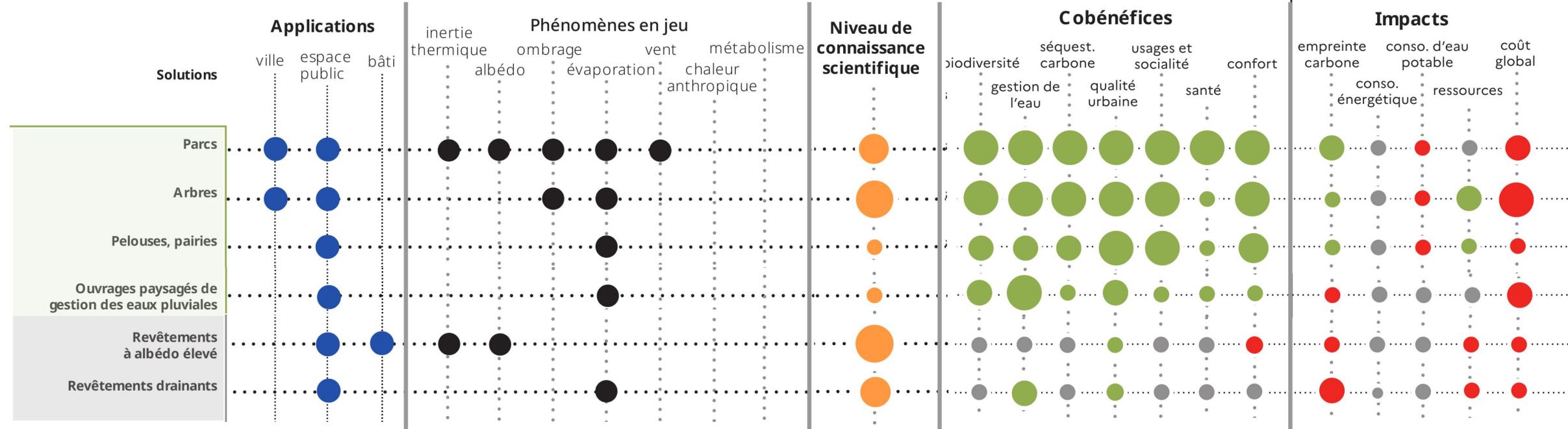
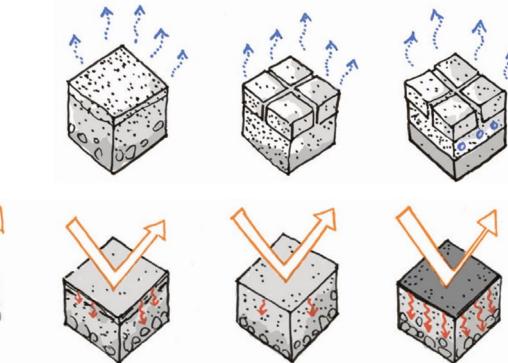
## Les solutions vertes

Les solutions vertes font intervenir les solutions fondées sur la nature (végétal, eau).



## Les solutions grises

Les solutions grises rassemblent les solutions techniques relatives aux infrastructures urbaines : revêtements, mobilier urbain, bâtiments.



© Ademe (2021)

# RAFRAÎCHISSEMENT URBAIN ET AUTRES CO BÉNÉFICES

## Plateforme 'Plus fraîche ma ville' (Ademe)

Types de solution

- Solution verte
- Solution bleue
- Solution grise
- Solution douce

Baisse de la température

- Faible (< 1°C)
- Moyenne (Entre 1 et 3°C)
- Forte (>= 3°C)

Tous espaces      Rond-point      Bâtiment      Parking      Rue      Place      Cour d'école      Parc et jardin

Solution grise  
**Adaptation des bâtiments - école**  
Améliore le confort thermique grâce à l'isolation, l'ombrage et la ventilation

Baisse médiane de la température intérieure **-2,3°C**

Délai des travaux de 3 à 6 mois

Solution verte  
**Arbres et végétaux dans la cour d'école**  
Fait de l'ombre et rafraîchit l'air par évapotranspiration

Baisse médiane de la température de l'air **-4°C**

Délai des travaux de 0 à 1 mois

Solution grise  
**Structure d'ombrage en façade**  
Limite l'exposition à la chaleur et améliore le confort thermique à l'intérieur

Baisse médiane de la température intérieure **-3,5°C**

Délai des travaux de 0 à 1 mois

<https://plusfraichemaville.fr/>

# SOLUTIONS VERTES ET RAFRAÎCHISSEMENT URBAIN

## Effet des arbres

-3°C max à l'échelle de l'arbre

- Effet rafraîchissant surtout apporté par l'ombrage



-2.5°C max à l'échelle de la ville

- Étude EPICEA : végétalisation de 75 % des surfaces



de Munck, C. (2013). Modélisation de la végétation urbaine et stratégies d'adaptation pour l'amélioration du confort climatique et de la demande énergétique en ville [Ph. D. Thesis]. Université de Toulouse.

# SOLUTIONS VERTES ET RAFRAÎCHISSEMENT URBAIN

## Effets des parcs

De -0,15 °C à -5,9 °C à l'échelle du parc

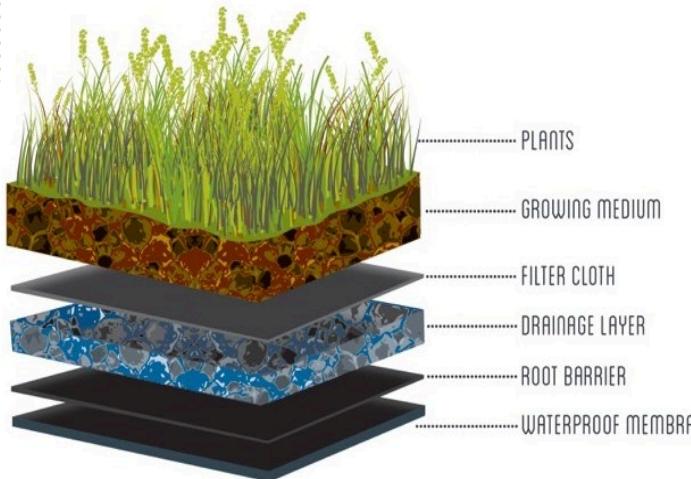
- Effet rafraîchissant corrélé à la taille du parc
- Effet seuil
- Impact de forme du parc
- L'effet s'estompe en sortant du parc



Konarska, J., Holmer, B., Lindberg, F., & Thorsson, S. (2016). Influence of vegetation and building geometry on the spatial variations of air temperature and cooling rates in a high-latitude city. *International Journal of Climatology*, 36(5), 2379–2395. <https://doi.org/10.1002/joc.4502>

# SOLUTIONS VERTES ET RAFRAÎCHISSEMENT URBAIN

## Végétalisation du bâtiment : les toitures



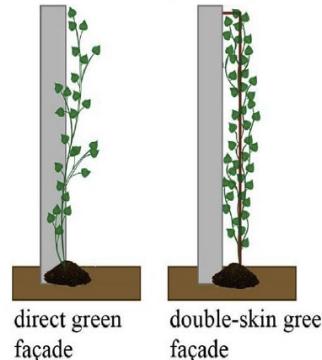
De  $-1^{\circ}\text{C}$  à proximité de la toiture à  $-0,5^{\circ}\text{C}$  à l'échelle de la ville si toutes les toitures disponibles sont pourvues de TV.

Jim, C. Y. (2015). Assessing climate-adaptation effect of extensive tropical green roofs in cities. *Landscape and Urban Planning*, 138, 54–70. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.02.014>  
de Munck, C. (2013). Modélisation de la végétation urbaine et stratégies d'adaptation pour l'amélioration du confort climatique et de la demande énergétique en ville [Ph. D. Thesis]. Université de Toulouse.

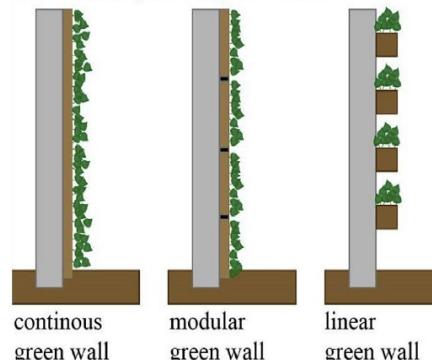
# SOLUTIONS VERTES ET RAFRAÎCHISSEMENT URBAIN

## Végétalisation du bâtiment : les façades

Ground based systems: green façades



Wall-based systems: green walls



Façades



Murs vivants



Réduction de la température de surface (de  $-1^{\circ}\text{C}$  à  $-2,7^{\circ}\text{C}$ )

Perini, K., Ottelé, M., Fraaij, A. L. A., Haas, E. M., & Raiteri, R. (2011). Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope. *Building and Environment*, 46(11), 2287–2294. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.05.009>  
Besir et al, 2018, Green roofs and facades : a comprehensive stpdy, *Renewable and sustainable energy reviews*, 82 (2018), pp915-939

Forte réduction de la température d'air à proximité, effet contraire la nuit

# RAFRAÎCHISSEMENT URBAIN

## Végétalisation de l'espace public au sol

### - Noues

Effet locaux uniquement, peu de données chiffrées



### - Pelouses

De  $-1.2^{\circ}\text{C}$  au niveau de la pelouse à  $-1^{\circ}\text{C}$  à l'échelle de la ville



### - Jardins de pluie

Effet très locaux uniquement, peu de données chiffrées



Crédits: Adopta

# Démonstrateurs et évaluation

# COURS D'ECOLES

## Objectifs :

- S'adapter au changement climatique : rafraîchir (améliorer le confort des élèves, contribuer à l'atténuation du phénomène d'ICU) et mieux gérer la ressource en eau
- Multiplier les usages et accroître le bien-être des élèves
- Restaurer la biodiversité dont les continuités écologiques urbaines

## Mesures avant/après travaux dans les espaces extérieurs

### Diagnostic microclimatique via station de mesures « mobiles »

| Variable                           | Unité            | Capteur     |
|------------------------------------|------------------|-------------|
| Température de l'air               | °C               | Thermomètre |
| Vitesse du vent                    | m/s              | Anémomètre  |
| Direction du vent                  | °                | Anémomètre  |
| Humidité relative                  | %                | Hygromètre  |
| Rayonnement solaire incident       | W/m <sup>2</sup> | Pyranomètre |
| Température moyenne du rayonnement | °C               | Globe noir  |



# COURS D'ECOLES

## Evaluation du confort thermique ressenti à l'échelle de la cour

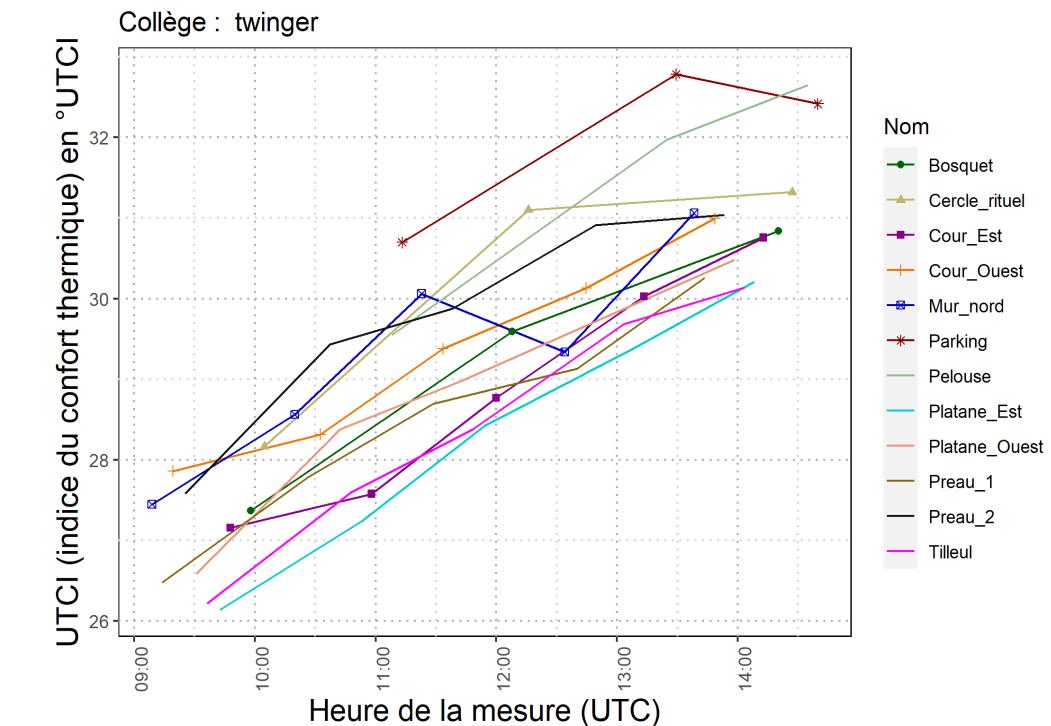


© Ademe (2017)

### Calcul de l'UTCI

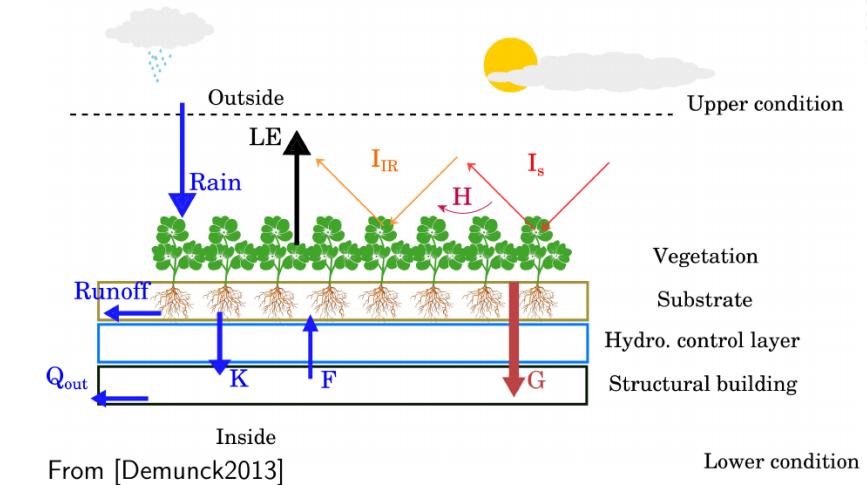
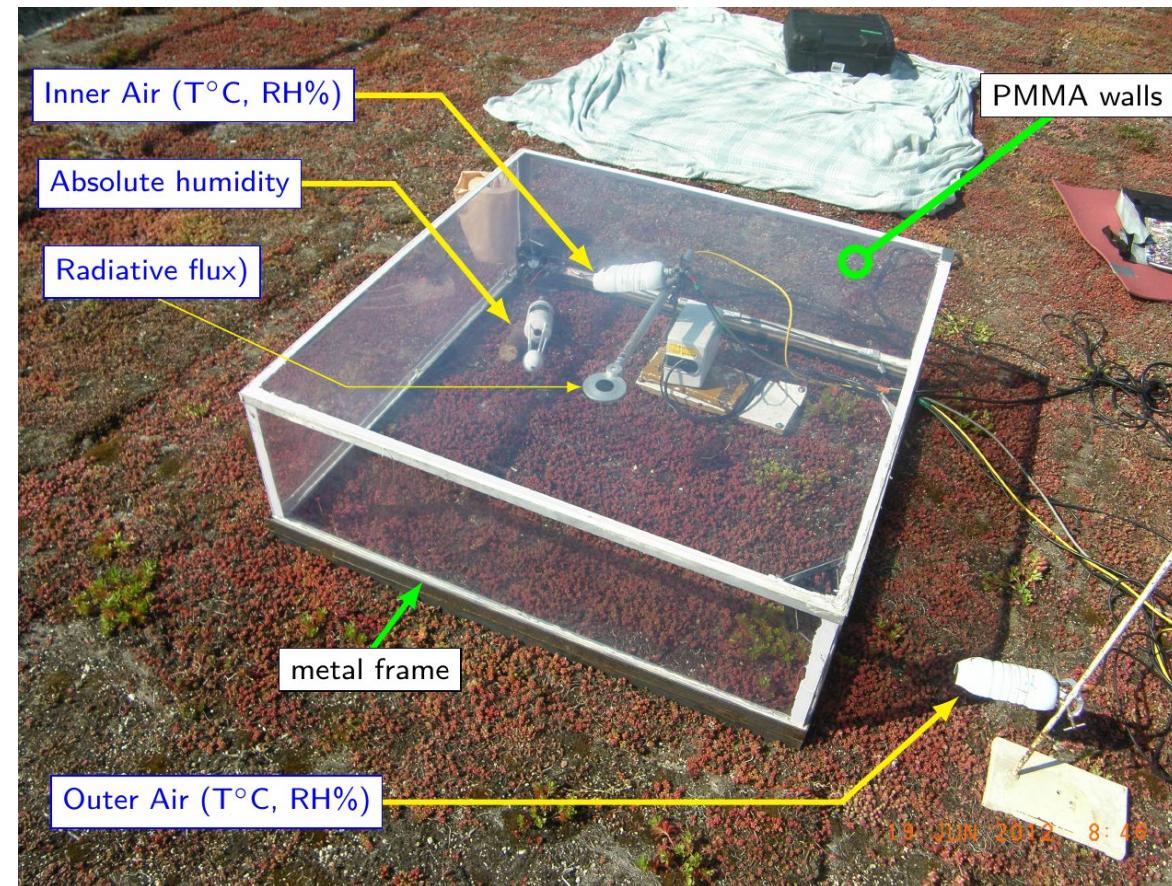
Inclus un modèle physiologique + un modèle d'habillement + un contexte de référence

| échelle UTCI (en °C) | Niveau de stress correspondant |
|----------------------|--------------------------------|
| De +9 à +26          | Absence de stress thermique    |
| De +26 à +32         | Stress thermique modéré        |
| De +32 à +38         | Stress thermique fort          |
| De +38 à +46         | Stress thermique très fort     |
| Au-delà de 46        | Stress thermique extrême       |

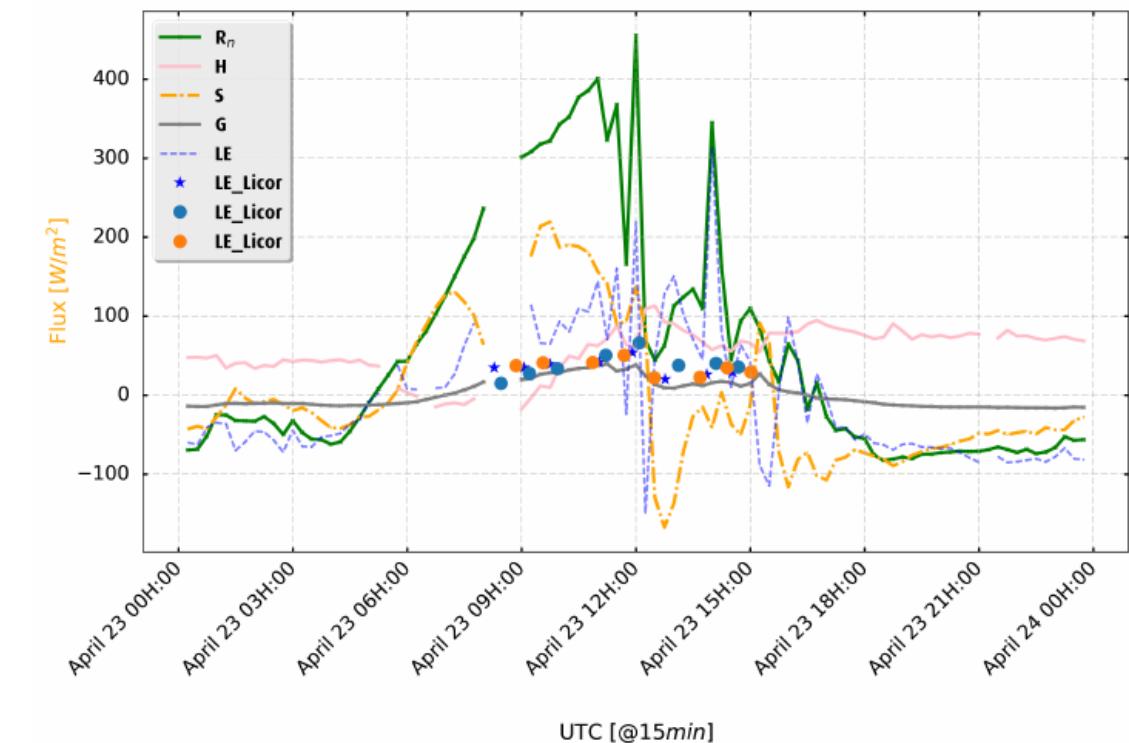


# TOITURES VEGETALISEES

Fonctionnement hydrologique /microclimatique : l'évapotraspiration



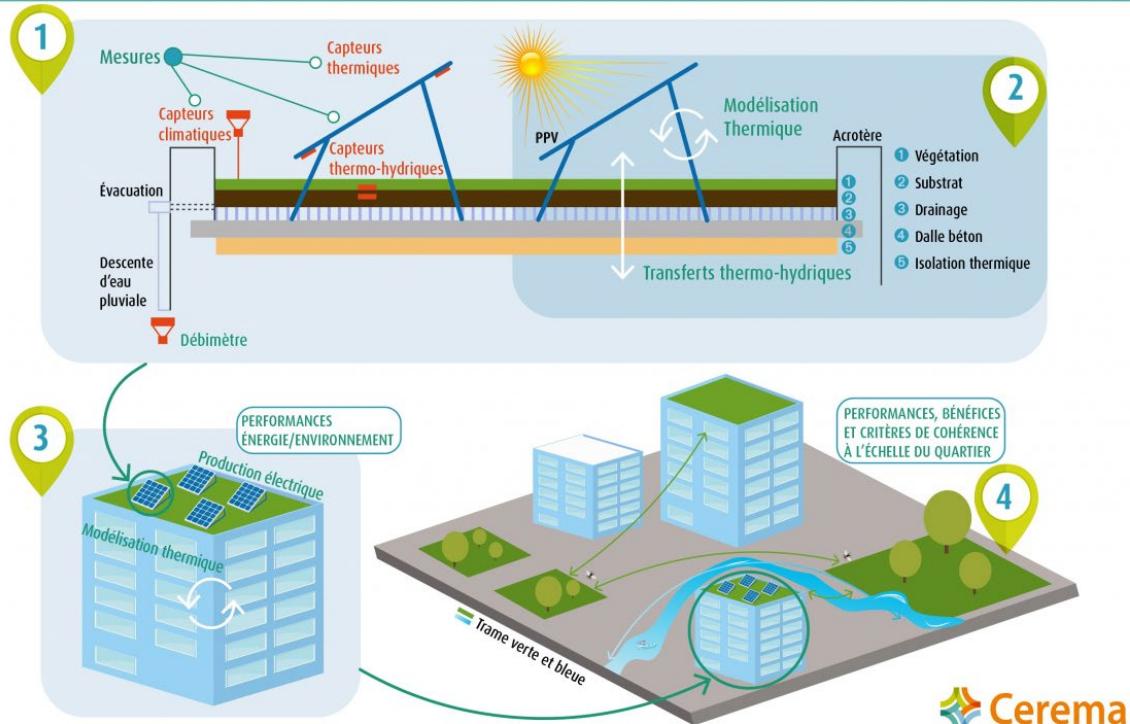
Comparaison mesures / observations+calculs



# TOITURES VÉGÉTALISÉES

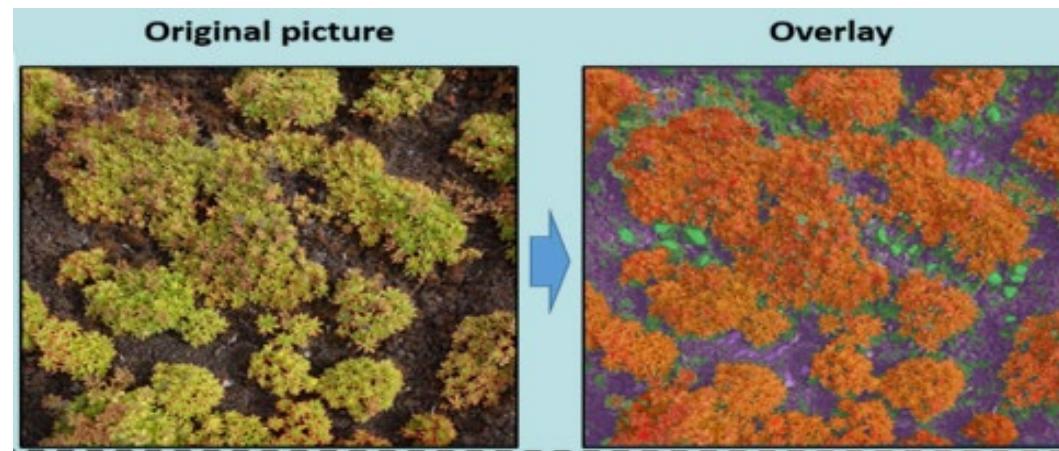


Étude des performances énergie-environnement des toitures biosolaires aux trois échelles (système, bâtiment, projet d'aménagement)



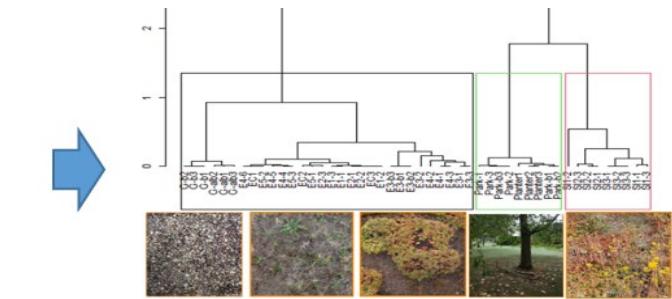
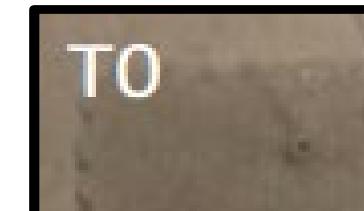
# TOITURES VEGETALISEES

Caractérisation des couverts végétaux  
analyses d'images



Autres fonctions écologiques

→ vitesse de dégradation de la matière organique

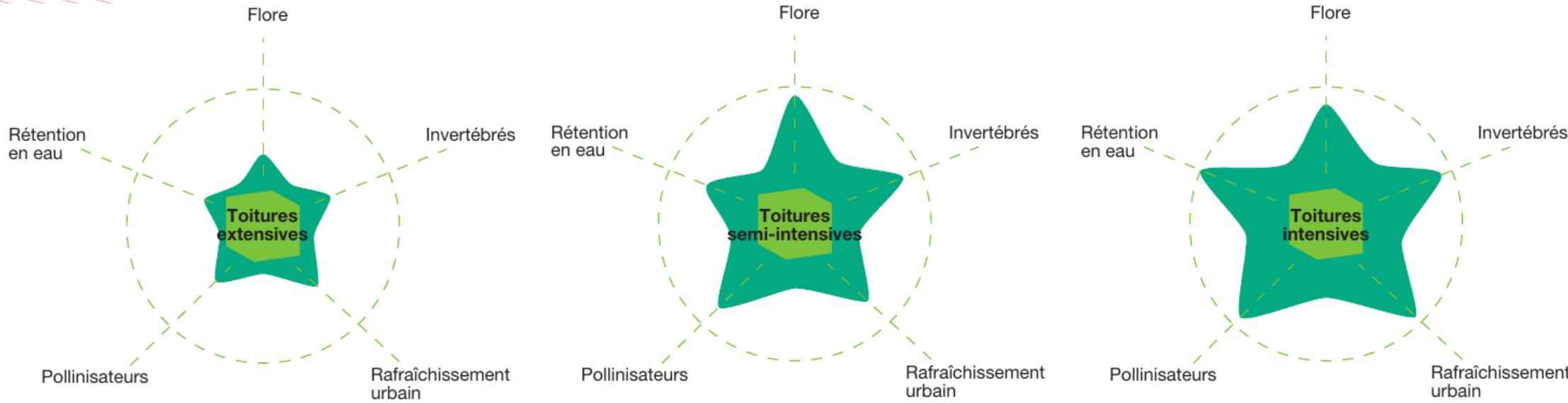


Tests « bandes de coton »

Projet BioFoSurb (LIEC - CNRS)

→ caractérisation de la diversité microbienne des substrats / sols

# TOITURES VEGETALISEES



De nombreux bénéfices, liés aux services écosystémiques, sont directement liés à la technologie de TV

M. Barra, H. Johan (coord.), Écologie des toitures végétalisées. Synthèse de l'étude GROOVES (Green roofs verified ecosystem services). 2021, 92p.

# PROJET SEVE

## « Services écologiques rendus par les ouvrages végétalisés »

Un autre regard sur les ouvrages végétalisés urbains : mesurons les services qu'ils nous rendent

Strasbourg.eu  
eurometropole

AGENCE DE L'EAU  
RHIN-MEUSE

- **Instrumentation :**

- 9 fosses d'arbre, 1 noue

- **Prélèvements sol (+ végétation) :**

- 22 fosses d'arbre, 10 noues



- **Évaluation (moyen/long terme) :**

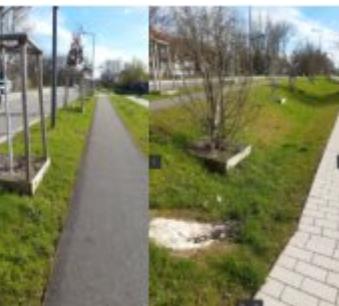
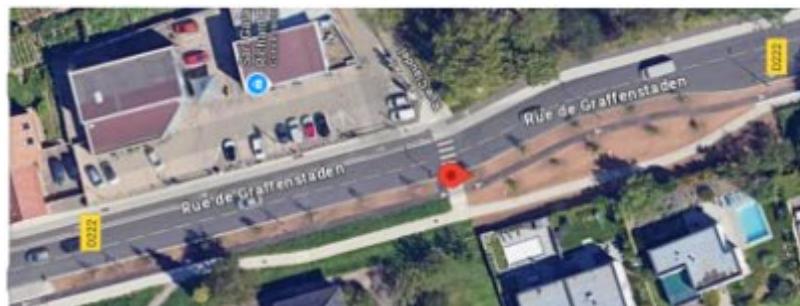
- Infiltration/dispersion eau & polluants routiers
  - Évapotranspiration

- Teneur en eau & EC dans le sol
- Flux de sève
- Station météo

- Composition physico-chimique
- Biodiversité (faune, flore)



- Amélioration de la GEP
- Rétention de pollution
- Amélioration du climat urbain
- Support de biodiversité



# INITIATIVES NATIONALES DE R&I

<https://www.pepr-solubiod.fr>



Accueil   Programme   Actions   Projets   Publications   Contact    



**Innover avec la nature pour des impacts positifs sur la biodiversité, la société et l'économie**

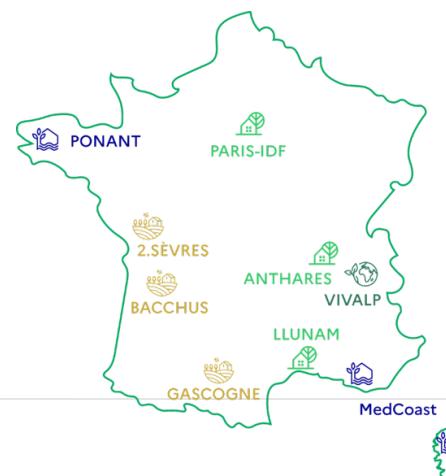
Piloté par



Financé par



Opéré par



PRINCIPAUX MILIEUX ÉTUDIÉS

- SfN en milieu côtier
- SfN en milieu agricole
- SfN en milieu urbain
- SfN dans les aires protégées

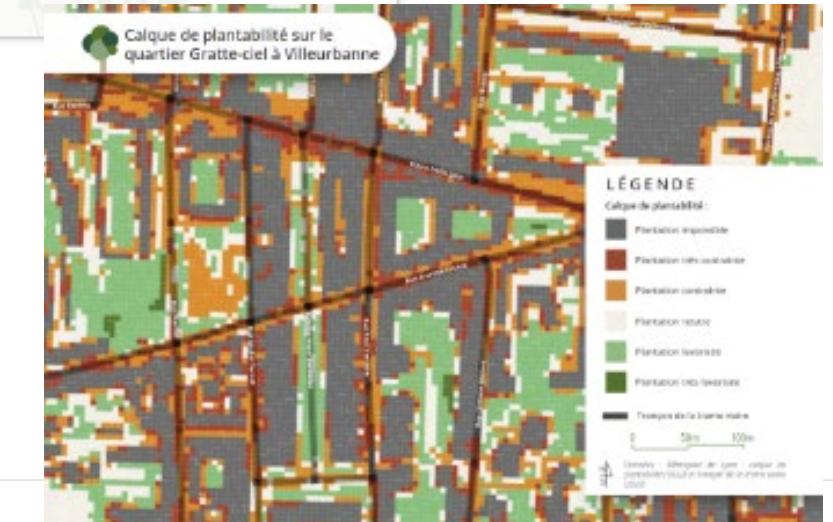
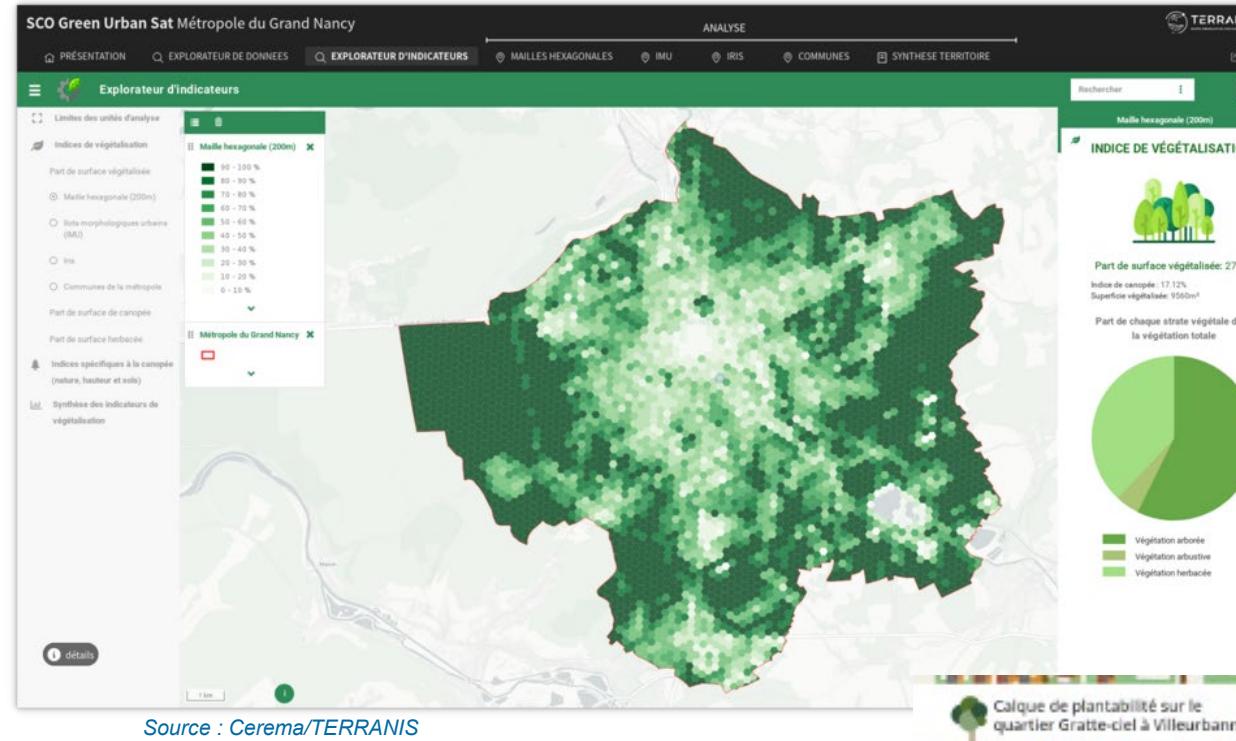


# SFN et planification urbaine

# Identification des zones à opportunités de végétalisation

en croisant les zones à enjeux d'adaptation (chaleur, ruissellement, sécheresse, etc), sociaux (personnes vulnérables) et de nature (trame verte et bleue)

avec les sites potentiellement renaturables



# Modifier les documents de planification en faveur des SfN

## Mobiliser le zonage

- Mieux choisir les zones AU
- Recourir aux zones N et A, EBC, espaces ou éléments de paysage à protéger
- Mobiliser l'exonération de taxe sur les propriétés non-bâties (vergers, AB, ZH, ORE...)

## Inscrire dans le règlement du PLU :

- Le recours aux coefficients (de biotope par surface, de pleine terre)
- Des obligations (dimensionnement fosses d'arbres, infiltration à la parcelle, clôtures...)

## Mettre en place des règles de gestion des espaces de nature

- Appliquer des principes de gestion écologique sur les espaces publics paysagers
- Mettre en place des mesures contractuelles et initiatives de gestion durable des espaces agricoles et naturels ainsi que des jardins partagés et privés

## Utiliser les OAP pour le végétal, les espaces de nature et les sols

- Préserver les éléments clés de la TVB
- Instaurer des principes d'aménagement applicables à l'ensemble de opérations d'aménagement
- Donner une fourchette de densification attendue ainsi que des typologies de construction
- Prévoir la création d'espaces publics paysagers



# Quelques ressources pour aller plus loin

# Centre de ressources



Centre de ressources pour l'adaptation au changement climatique

Comprendre ▾ Dossiers thématiques ▾ Agir ▾ S'inspirer ▾ Actualités ▾ Espace documentaire ▾

### Face aux inondations, un cas d'école : le quartier Matra à Romorantin



Face à des phénomènes d'inondations qui s'amplifient, peut-on construire à proximité des cours d'eau, et à quelles conditions ? À Romorantin-Lanthenay dans le Loir-et-Cher, le maire et l'architecte ont fait le choix, il y a 10 ans, d'aménager un quartier inondable en plein centre-ville. Un projet osé, devenu emblématique.

**Mission adaptation** Premiers conseils pour vos démarches

**Tourisme** **Montagne** **Solutions d'adaptation fondées sur la nature** **Bâtiment**

[Tous les dossiers >](https://www.adaptation-changement-climatique.gouv.fr/)

<https://www.adaptation-changement-climatique.gouv.fr/>

# Outils

## Argumentaires élus



[https://www.ofb.gouv.fr/sites/default/files/2024-06/SAFN\\_OFB\\_PUBLICATION\\_SPECIALE\\_LIFE.pdf](https://www.ofb.gouv.fr/sites/default/files/2024-06/SAFN_OFB_PUBLICATION_SPECIALE_LIFE.pdf)

## Guide techniciens



[https://www.ofb.gouv.fr/sites/default/files/2024-06/SAFN\\_OFB\\_BOITEOUTILS-PRESENTATION.pdf](https://www.ofb.gouv.fr/sites/default/files/2024-06/SAFN_OFB_BOITEOUTILS-PRESENTATION.pdf)

## De la planification à l'évaluation d'un projet de SfN



<https://outil-sfn.solutions-fondees-sur-la-nature.fr/>

**Merci pour votre attention**

[www.cerema.fr](http://www.cerema.fr)

