

# 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 sociétaux et changement climatique
- Végétalisation et solutions fondées sur la nature
- Fonctions écologiques, services écosystémiques et cobénéfices
- L'évaluation des bénéfices associés aux SaFN : démonstrateurs territoriaux et apport de la recherche

# Contexte et enjeux

# CHANGEMENT CLIMATIQUE ET ENJEUX D'ADAPTATION

## En montagne

- Diminution des quantités de neige
- Fonte des glaciers
- Risques gravitaires (avalanches, éboulements)
- Fortes perturbations des écosystèmes

## En forêt

- Dépérissements liés à la sécheresse et aux ravageurs
- Incendies

## En milieu agricole

- Sécheresse et augmentation des besoins en eau
- Confort des animaux pour l'élevage
- Perturbation du calendrier cultural
- Baisse des rendements
- Erosion des sols
- Coulées de boues

## En milieu aquatique à l'échelle d'un bassin versant

- Crues
- Sécheresse
- Augmentation de la température de l'eau
- Pollutions, eutrophisation

## De manière transversale

- Risques pour la santé humaine et les écosystèmes
- Tensions sur l'eau
- Mise en difficulté de certaines activités économiques (filiale bois, agriculture, tourisme...)

## En ville

- Îlots de chaleur urbains
- Ruissellement : inondations et pollutions
- Crues
- Dépérissement des végétaux
- Fragilisation des bâtiments par le retrait-gonflement des argiles
- Accentuation de la pollution de l'air

Réalisation : Patrick MARTIN/ © Agence Bluelife, 2022



# LE PNACC 3

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



*... parmi les 52 mesures*

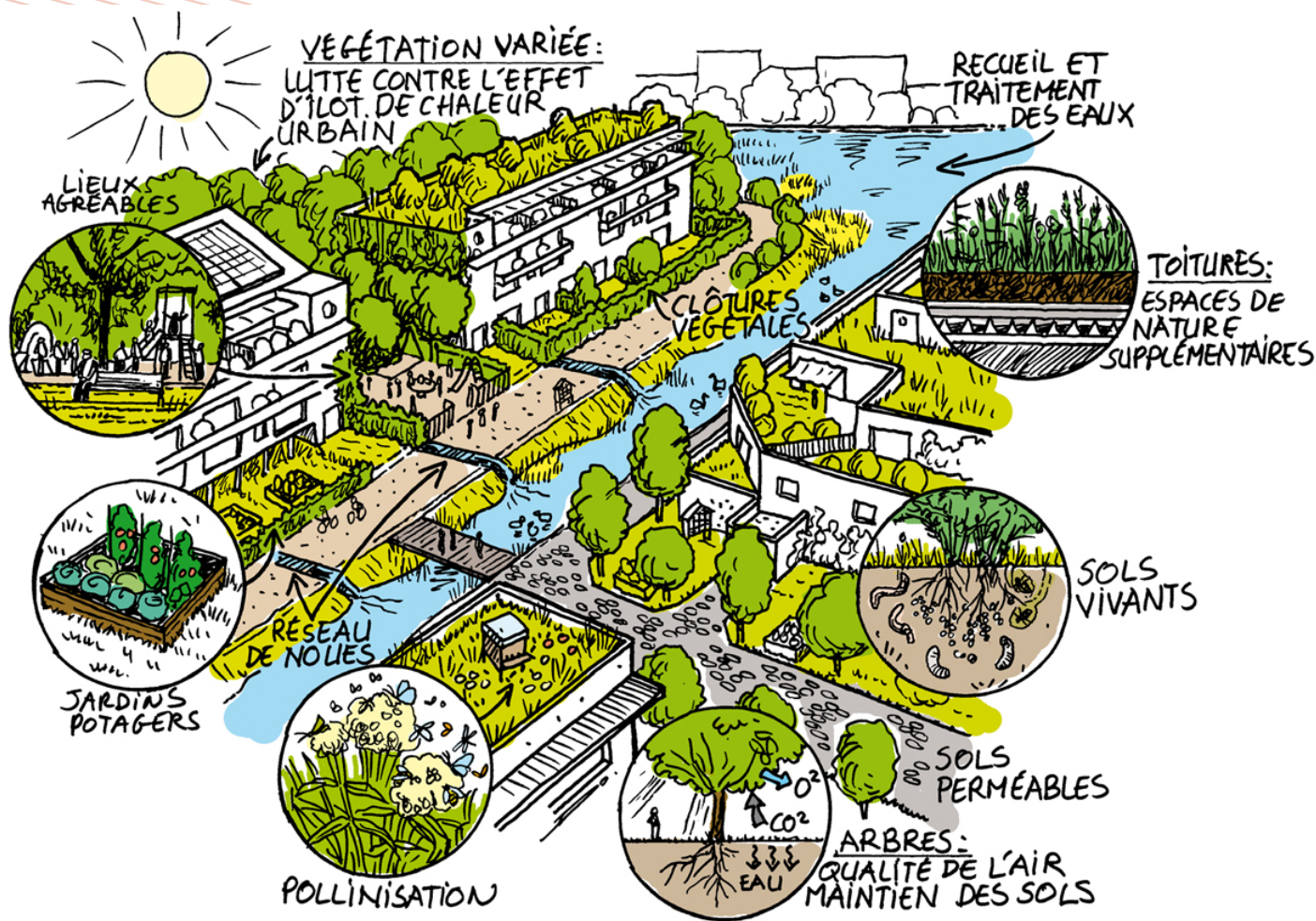
### **Mesure 20**

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 service qu'elle nous rend

# LA VILLE PERMÉABLE ET VÉGÉTALE



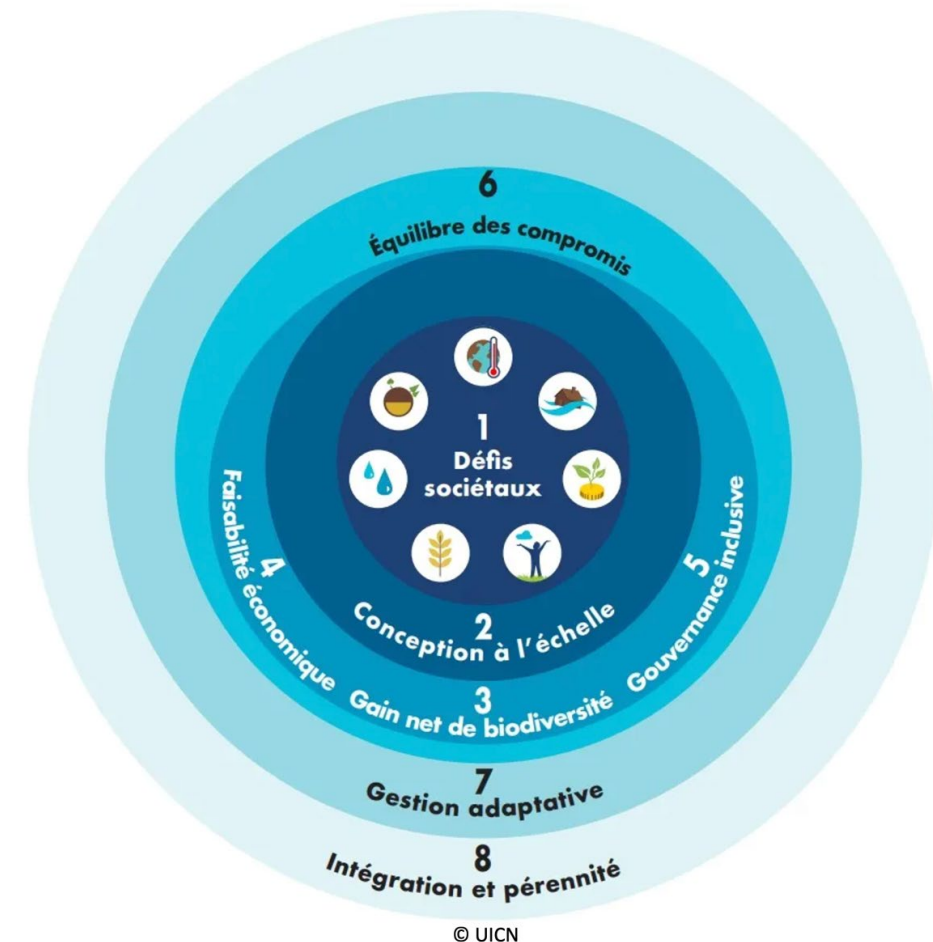
“Actions visant à **protéger, gérer de manière durable et restaurer** des écosystèmes naturels ou modifiés pour relever directement les **défis de société** de manière efficace et adaptative, tout en assurant le **bien-être humain** et en produisant des **bénéfices pour la biodiversité**”

→ *Repose sur la notion de services écosystémiques*

→ *Un écosystème dit “fonctionnel” améliore la résilience du territoire*



# LES SOLUTIONS FONDÉES SUR LA NATURE



**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 adaptative, 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



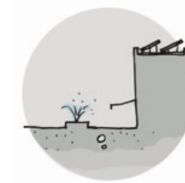
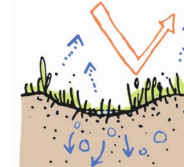
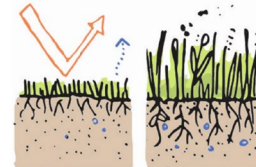
# Les bénéfices et services rendus

# RAFRAÎCHISSEMENT URBAIN ET AUTRES CO BÉNÉFICES



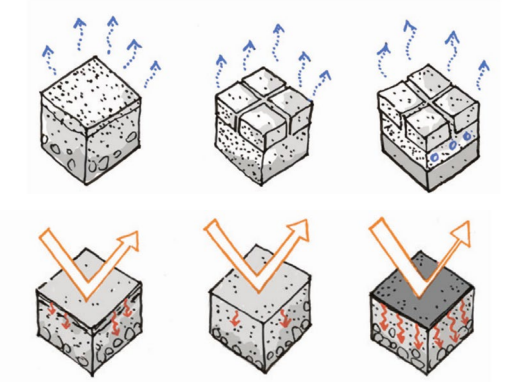
## Les solutions vertes

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.




Solutions	Applications			Phénomènes en jeu					Niveau de connaissance scientifique	Cobénéfices							Impacts				
	ville	espace public	bâti	inertie thermique	albédo	ombrage	évaporation	vent		métabolisme	biodiversité	gestion de l'eau	séquest. carbone	usages et socialité	qualité urbaine	santé	confort	empreinte carbone	conso. énergétique	conso. d'eau potable	ressources
Parcs	●	●		●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Arbres	●	●				●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Pelouses, prairies		●					●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Ouvrages paysagés de gestion des eaux pluviales		●					●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Revêtements à albédo élevé		●	●	●	●					●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Revêtements drainants		●					●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●


© Ademe (2021)

# RAFRAÎCHISSEMENT URBAIN ET AUTRES CO BÉNÉFICES


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




Tous espaces




Rond-point




Bâtiment




Parking




Rue



Place







Cour d'école








Parc et jardin


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)






 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

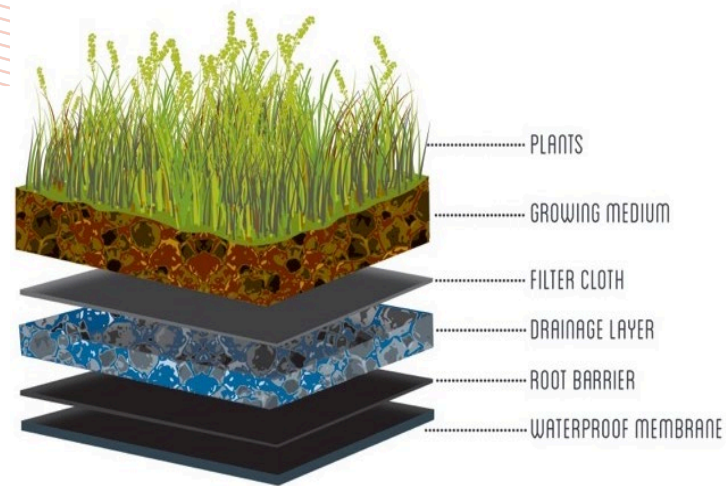


Konarska, J., Holmer, B., Lindberg, F., & Thorsson, S. (2016). Influence of vegetation and building geometry on the spatial variations of air temperature and cooling rates in a high-latitude city. *International Journal of Climatology*, 36(5), 2379–2395. <https://doi.org/10.1002/joc.4502>



# SOLUTIONS VERTES ET RAFRAÎCHISSEMENT URBAIN

## Végétalisation du bâtiment : les toitures



De -1°C à proximité de la toiture à -0,5°C à l'échelle de la ville si toutes les toitures disponibles sont pourvues de TV.

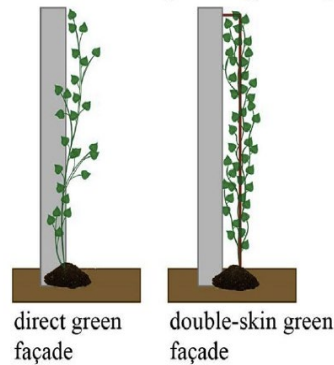
Jim, C. Y. (2015). Assessing climate-adaptation effect of extensive tropical green roofs in cities. Landscape and Urban Planning, 138, 54–70. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.02.014>  
de Munck, C. (2013). Modélisation de la végétation urbaine et stratégies d'adaptation pour l'amélioration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



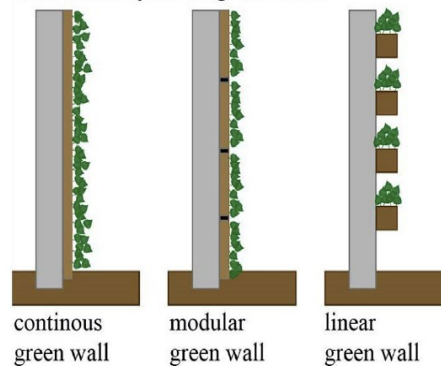
# SOLUTIONS VERTES ET RAFRAÎCHISSEMENT URBAIN

## Végétalisation du bâtiment : les façades

Ground based systems: green façades



Wall-based systems: green walls



Façades



Réduction de la température de surface  
(de -1°C à -2,7°C)

Murs vivants



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

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), 2287–294. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.05.009>  
Besir et al, 2018, Green roofs and facades : a comprehensive study, *Renewable and sustainable energy reviews*, 82 (2018), pp915-939

# 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

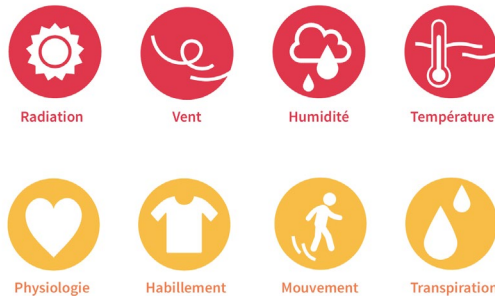
### Diagnostic microclimatique via station de mesures « mobiles »

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

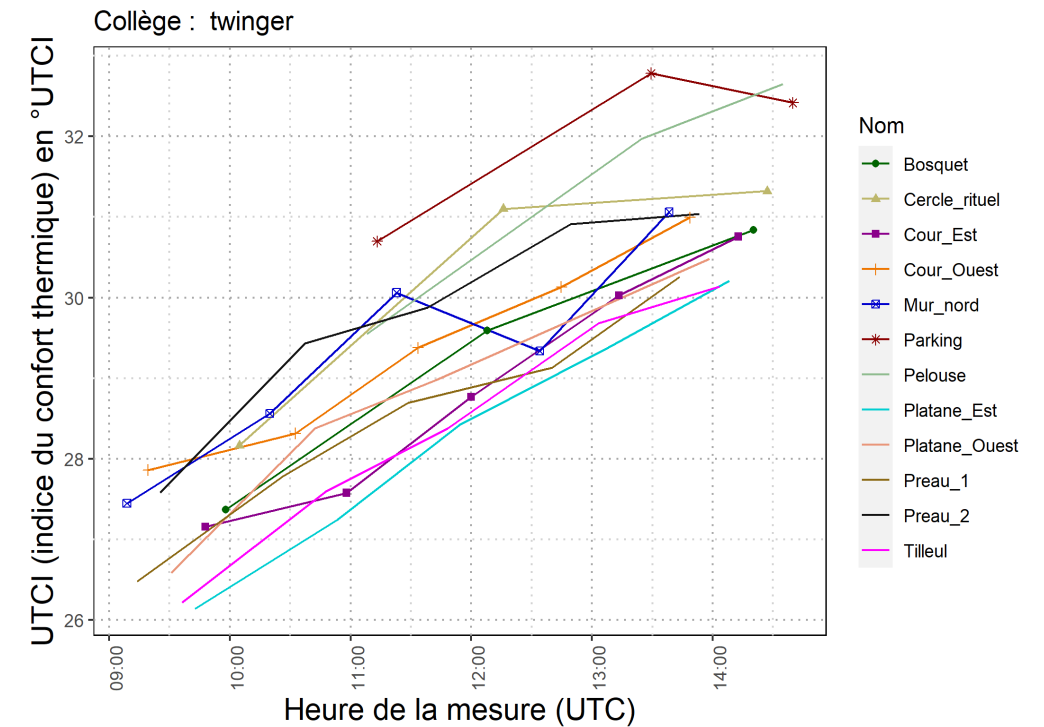


© Ademe (2017)

### Calcul de l'UTCI

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

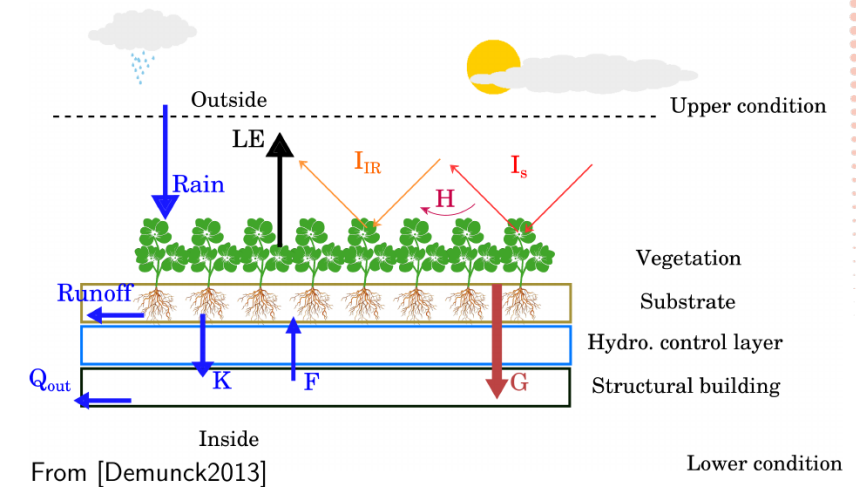
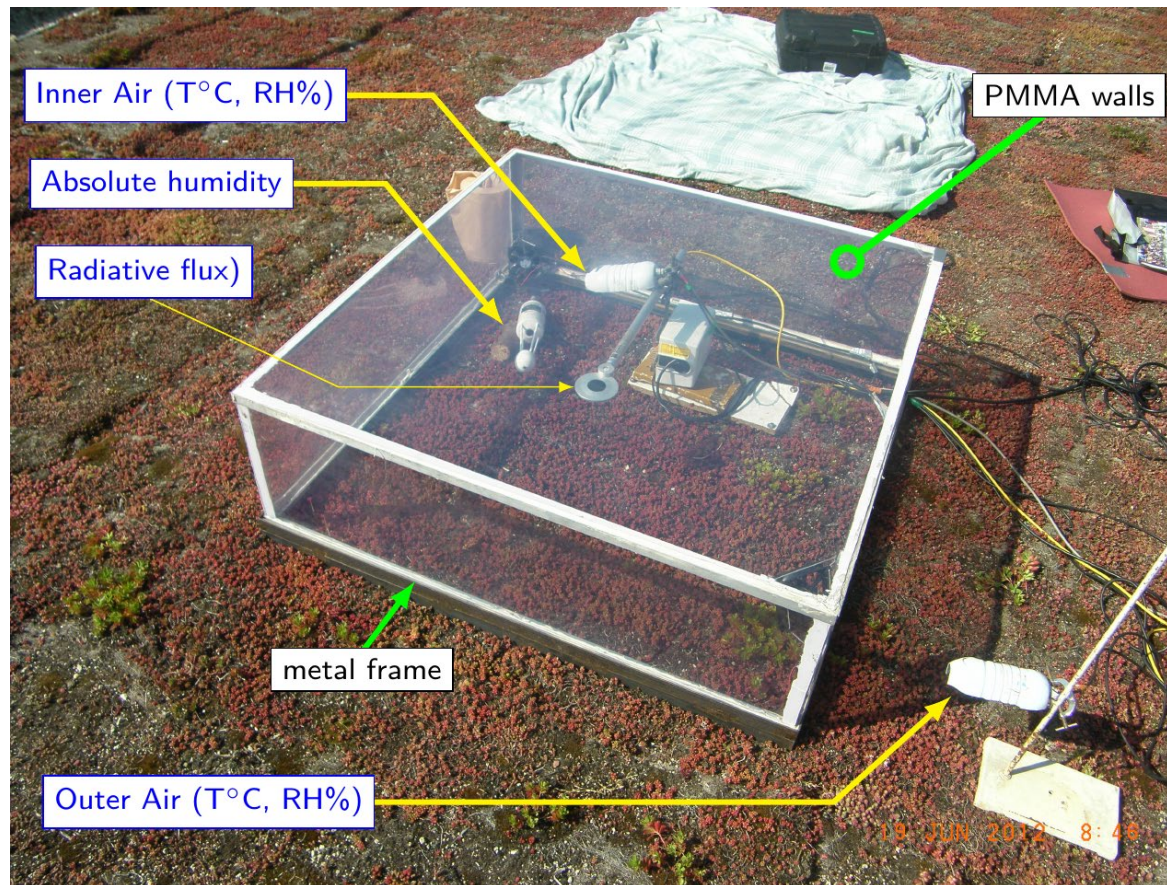
échelle UTCI (en °C)	Niveau de stress correspondant
De +9 à +26	Absence de stress thermique
De +26 à +32	Stress thermique modéré
De +32 à +38	Stress thermique fort
De +38 à +46	Stress thermique très fort
Au-delà de 46	Stress thermique extrême



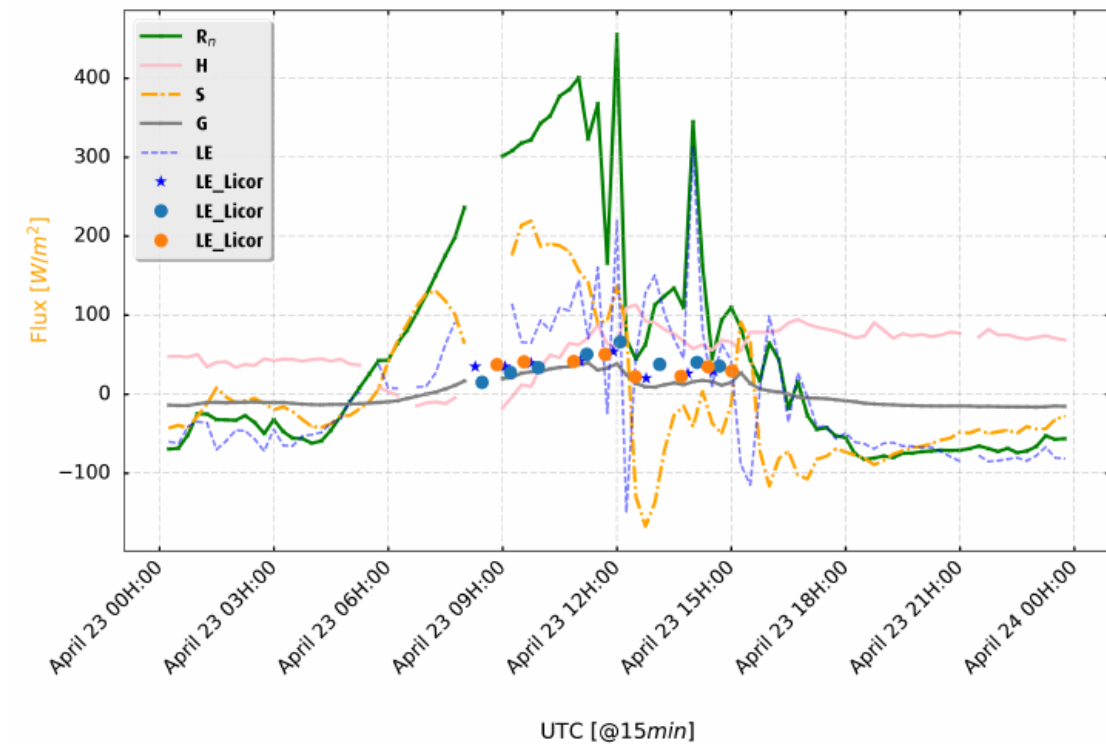


# TOITURES VEGETALISEES

Fonctionnement hydrologique /microclimatique : l'évapotranspiration



Comparaison mesures / observations+calculs

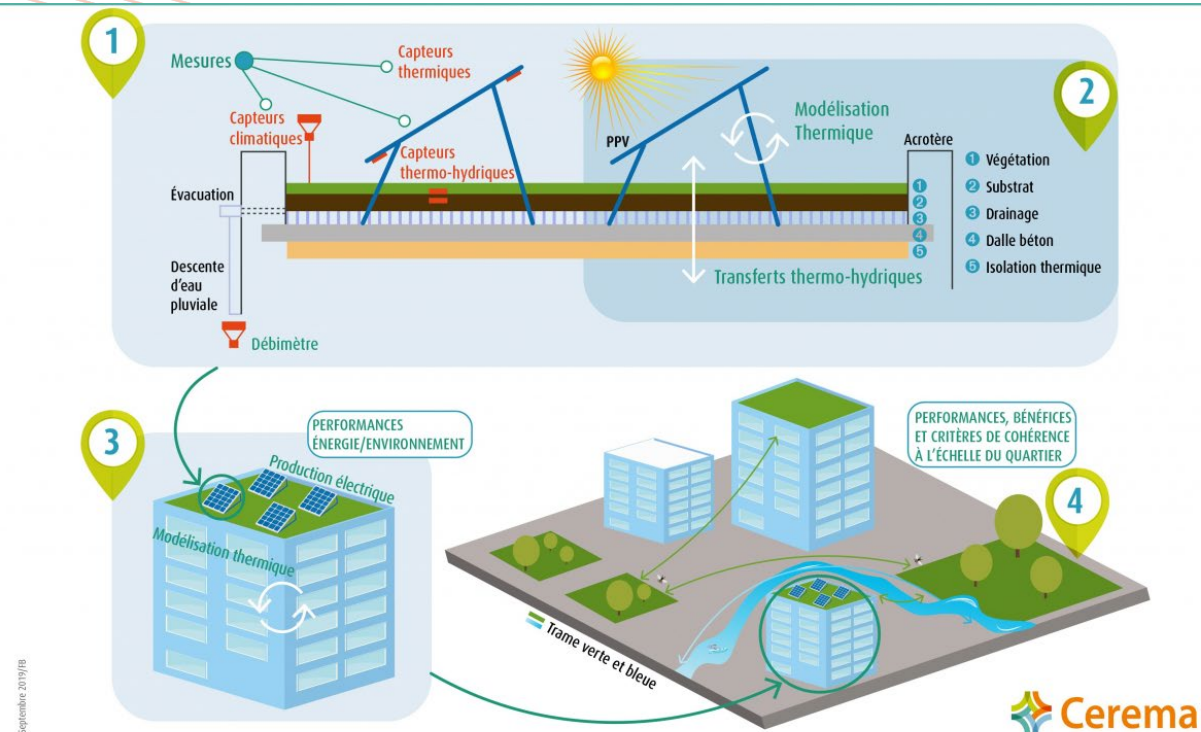




# TOITURES VEGETALISEES



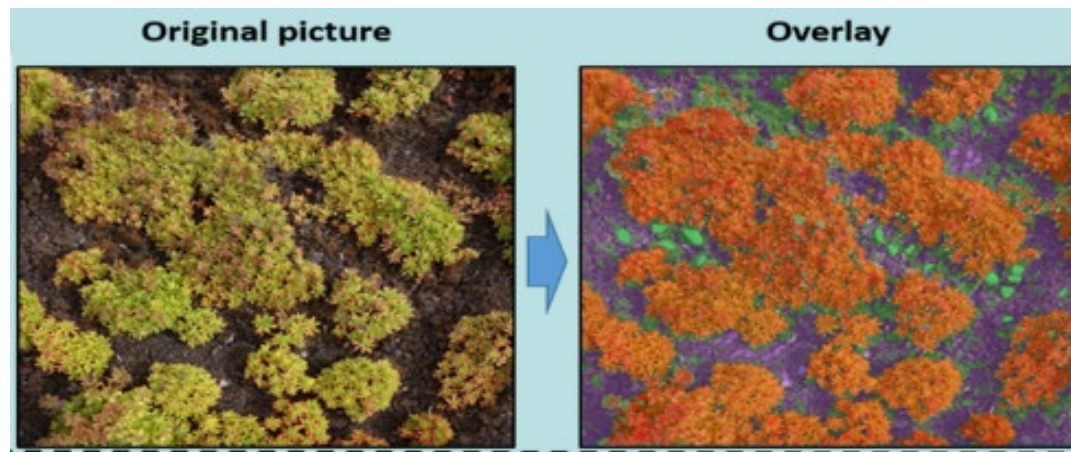
Étude des performances énergie-environnement des toitures biosolaires aux trois échelles (système, bâtiment, projet d'aménagement)





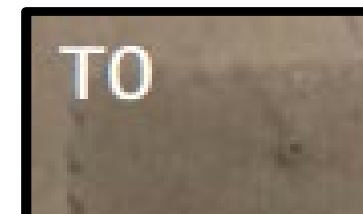
# TOITURES VEGETALISEES

Caractérisation des couverts végétaux  
analyses d'images

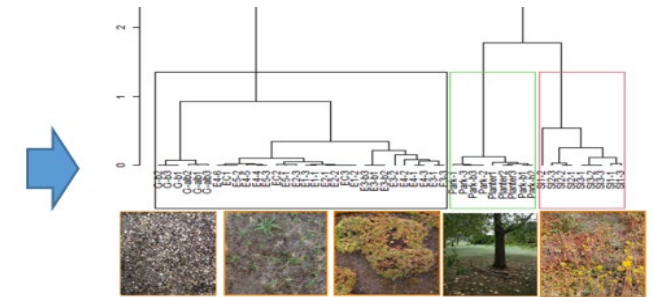


Autres fonctions écologiques

→ vitesse de dégradation de la matière organique



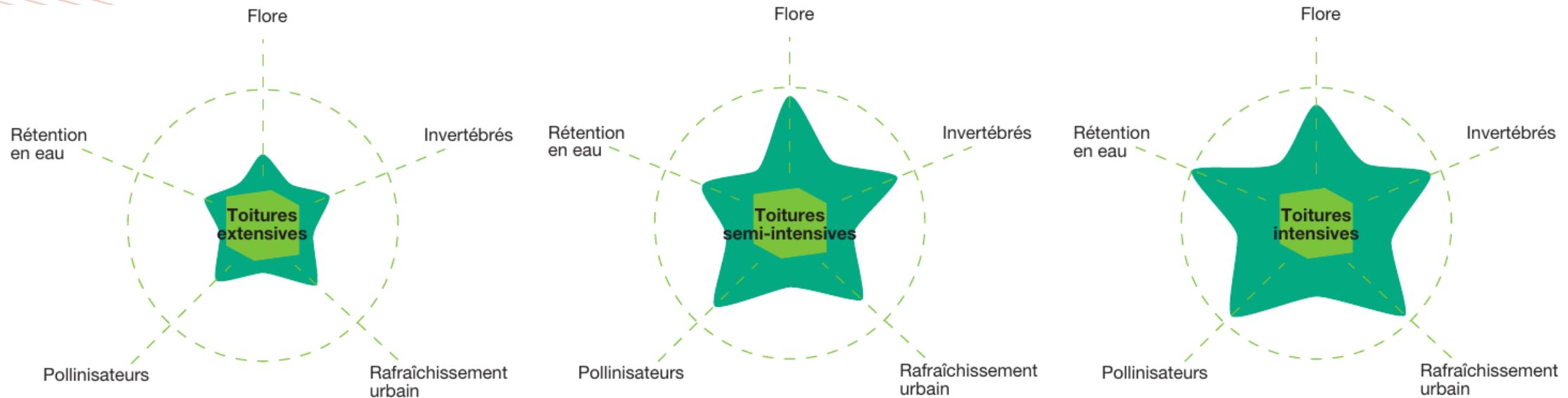
Tests « bandes de coton »



*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*



- **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

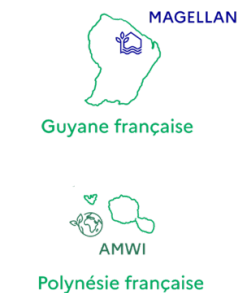
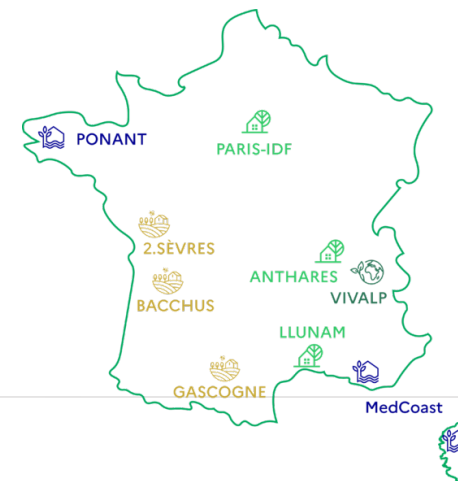
Piloté par







Financé par



Opéré par



## PRINCIPAUX MILIEUX ÉTUDIÉS

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



Institut pour la recherche appliquée  
et l'expérimentation en génie civil



<https://www.cerema.fr/fr/actualites/projet-national-issu-referentiel-national-evaluer-solutions>

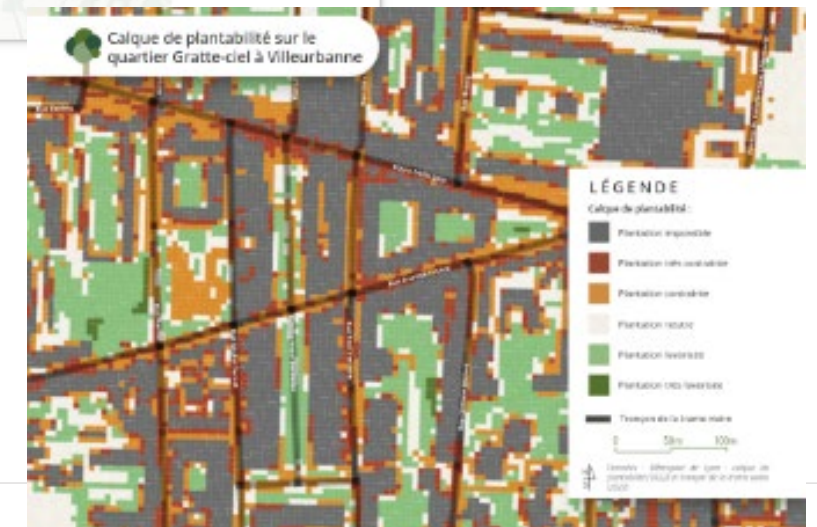
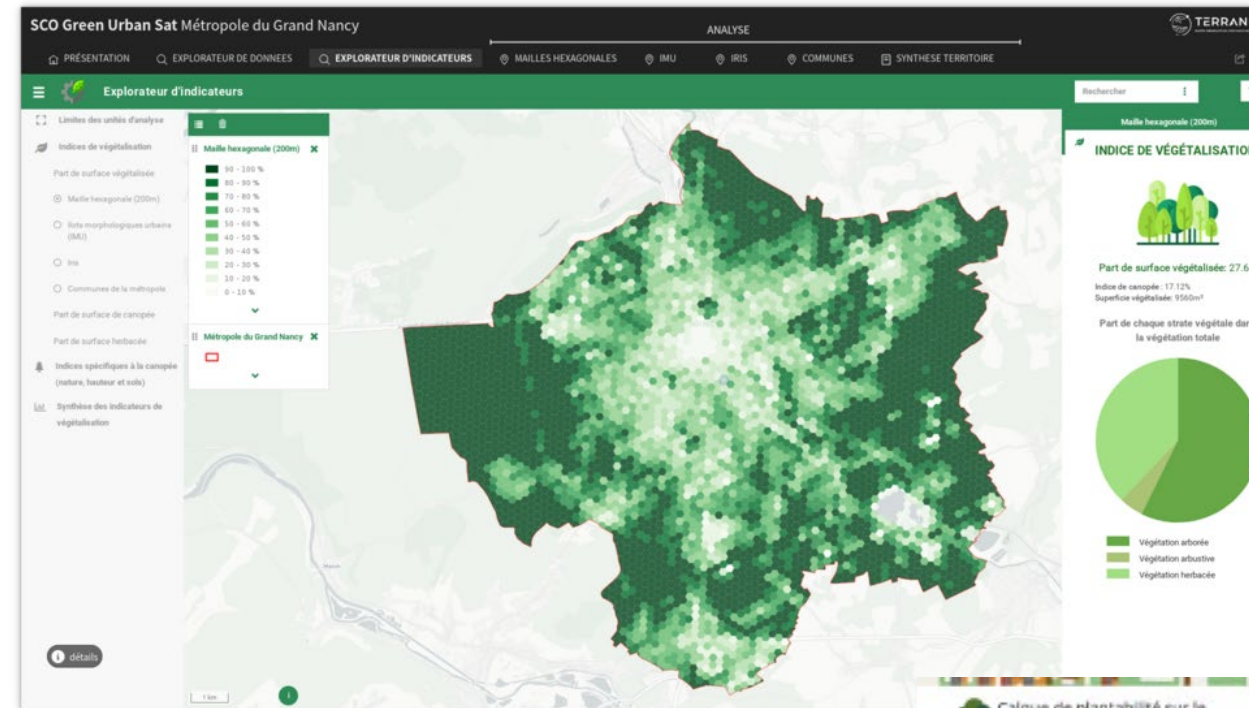
# SFN et planification urbaine



# 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 incitatives 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

in X

Vous êtes...

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/>

# 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



## Bienvenue sur l'outil d'accompagnement du De la planification à l'évaluation d'un projet Solut



Les Solutions fondées sur la Nature (SfN) s'agissent de solutions qui  
à **protéger, gérer de manière durable** et  
directement les défis de société de manière  
produisant des bénéfices pour la biodiversité

Cette définition des Solutions fondées sur la Nature a été adoptée par  
l'ONU, adoptée en mars 2022 lors de la cinquante-septième session  
(UNEA-5.2).

Les Solutions fondées sur la Nature se déclinent en trois types de solutions  
dans les territoires et si besoin, associées à d'autres actions

- La préservation d'écosystèmes fonctionnels
- L'amélioration de la gestion d'écosystèmes
- La restauration d'écosystèmes dégradés

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

**Merci pour votre attention**

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

