

FACILITATEUR EAU
FACILITATOR WATER

MIDI DE L'EAU WATER MIDDAG

LA GESTION DES EAUX PLUVIALES PAR LES
TOITURES VÉGÉTALISÉES
REGENWATERBEHEER DOOR GROENE DAKEN

19 OCTOBRE 2023

19 OKTOBER 2023

DÉBUT DU WEBINAIRE: 12H30
// BEGIN VAN WEBINAR : 12U30

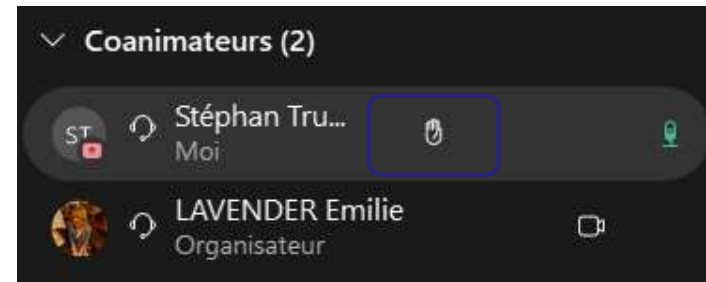
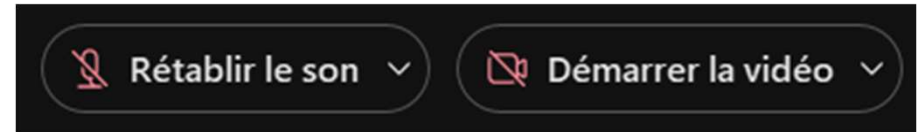
Informations techniques

- Interpretatie / Interprétation FR→NL
 - ▶ Klip op het interpretatie logo in de toolbar onderaan het Webex-scherm
Cliquez sur le logo interprétation dans la barre d'outils située en bas de votre écran Webex.
 - ▶ Klip op de gewenste taal
Cliquez sur la langue souhaitée.
 - ▶ Herhaal dezelfde handeling om de vertaling uit te schakelen en terug te keren naar de oorspronkelijke presentatie
Répétez la même opération pour désactiver la traduction et revenir à la présentation originale.



Informations techniques

- Audio et vidéo
 - ▶ Micro et caméra désactivés par défaut
 - ▶ Enregistrement
- Questions et réponses
 - ▶ Oralement :
 - › Levez la main
 - › Acceptez l'activation du micro
 - › Posez votre question
 - › Baissez la main après la réponse
 - ▶ Par écrit :
 - › Questions via le chat
 - › Réponses données en direct ou lors de la session de Q & R





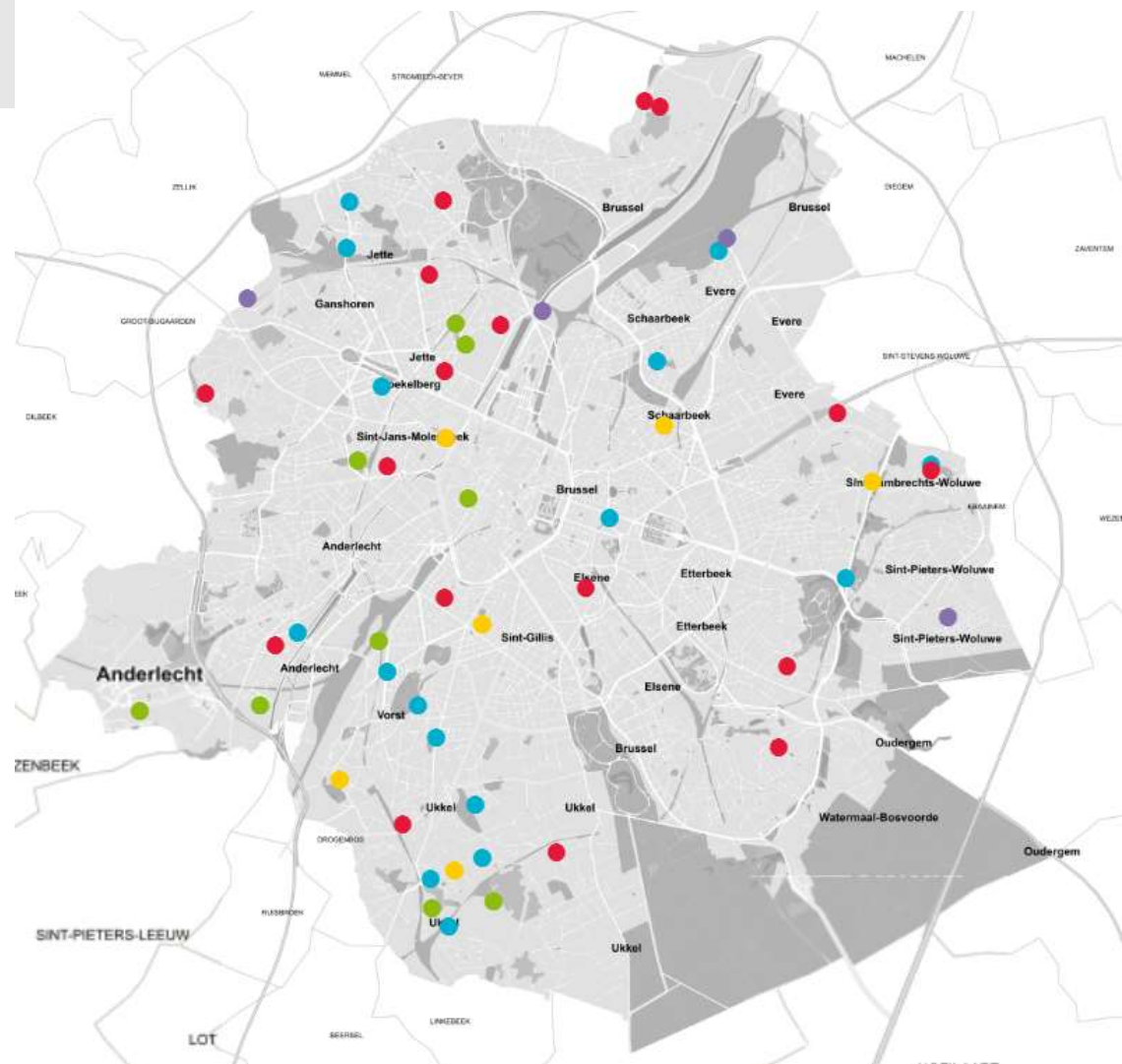
MOT
D'INTRODUCTION
**INLEIDENDE
TOELICHTING**

Nicolas Cammue
Département Eau | LBE



La cartographie maillage pluie

Mise à jour





MIDI DE L'EAU WATER MIDDAG

LA GESTION DES EAUX PLUVIALES PAR LES
TOITURES VÉGÉTALISÉES
REGENWATERBEHEER DOOR GROENE DAKEN

19 OCTOBRE 2023

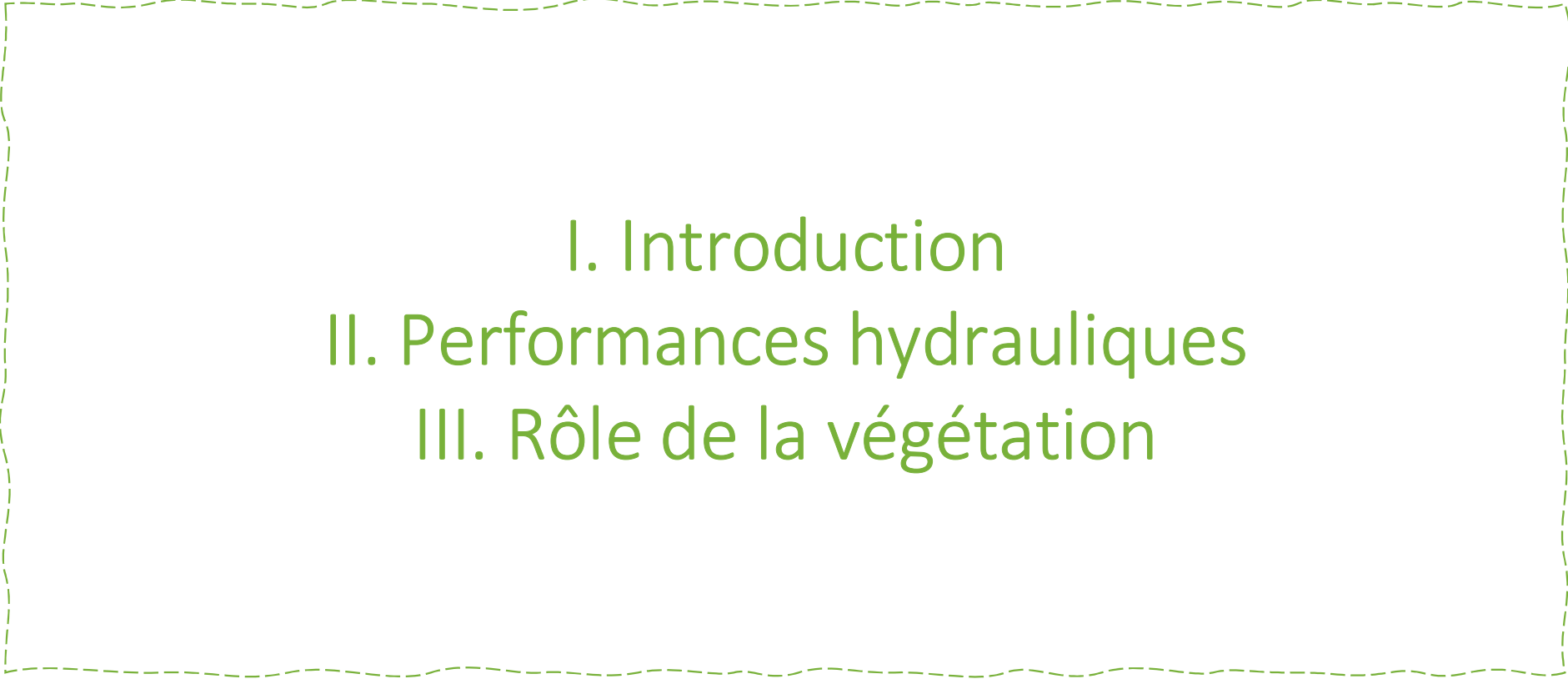
19 OKTOBER 2023

Stéphan Truong

Facilitateur Eau pour LBE

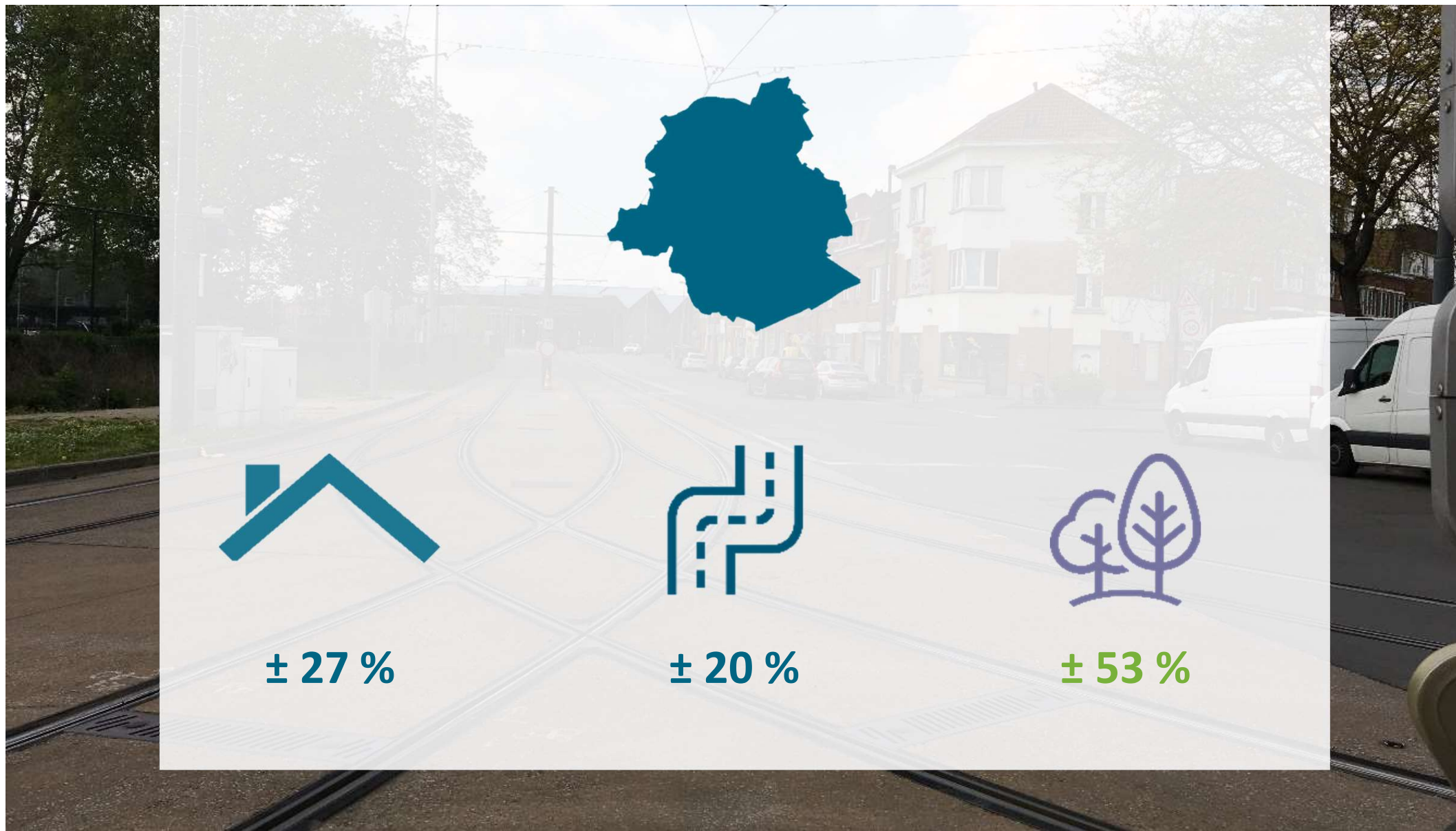


bruxelles
environnement
leefmilieu
brussel
.brussels



I. Introduction
II. Performances hydrauliques
III. Rôle de la végétation

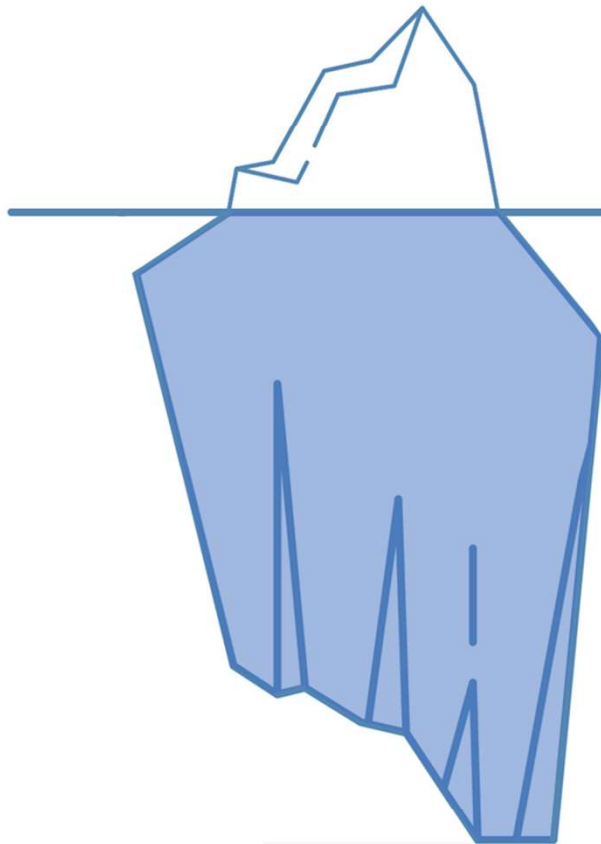
La végétalisation des toitures : solution indispensable de résilience face au changement climatique



Les enjeux sont multiples

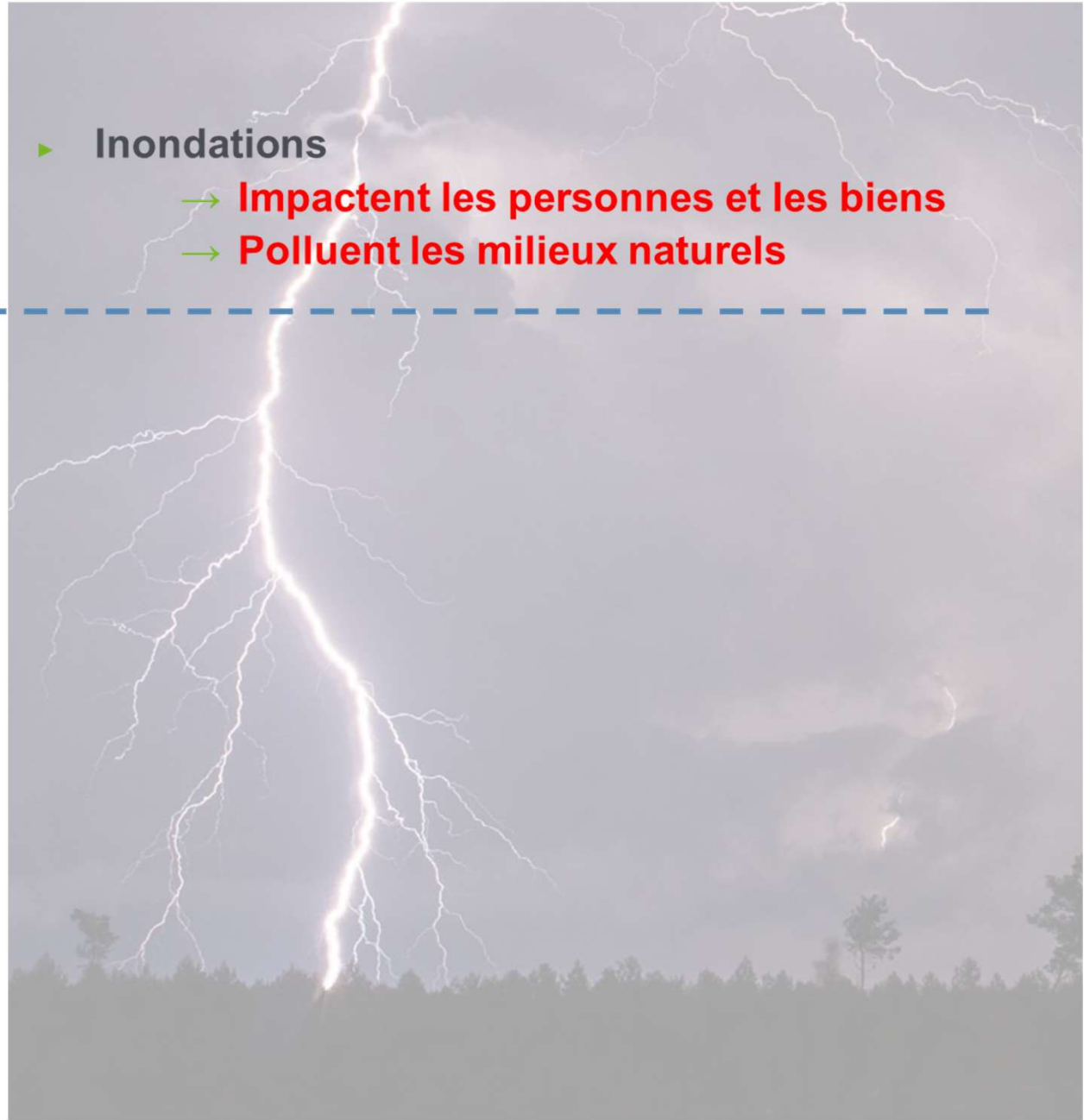
Impacts - inondations

- Conséquences perceptibles



► Inondations

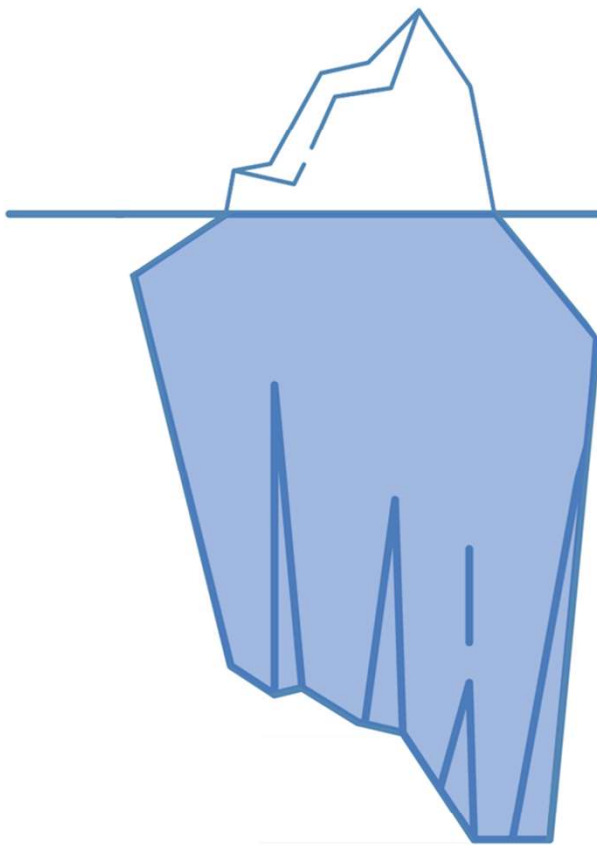
- **Impactent les personnes et les biens**
- **Polluent les milieux naturels**



Les enjeux sont multiples

Impacts

- Conséquences « non perceptibles »



- Inondations

- Impactent les personnes et les biens
- Polluent les milieux naturels

- Surcharge du réseau d'égouttage

- Dégradations d'infrastructures couteuses
- Déversement dans les milieux récepteurs

- Mélange eaux usées - eaux claires

- Dilution des eaux à épurer
- Gaspillage de la ressource eau claire
- Consommation en eau potable ↗

- Manque de recharge en eaux claires

- Des sols
- Des nappes
- Des cours d'eau et zones humides
- Perte de biodiversité

- Perte de qualité de vie en ville

- Ilot de chaleur urbain
- Bien-être, etc.

La majorité des évènements pluvieux sont des petites pluies



Les toitures végétalisées permettent de répondre à une partie de ces enjeux

Préserver la quantité et la qualité de la ressource en eau



Pluies
faibles



Pluies
moyennes

Récupérer pour utiliser dans le bâtiment.
Déconnecter du réseau d'égouttage en favorisant l'infiltration et l'évapotranspiration pour rendre aux milieux naturels une eau de bonne qualité.

Limitier les risques d'inondation



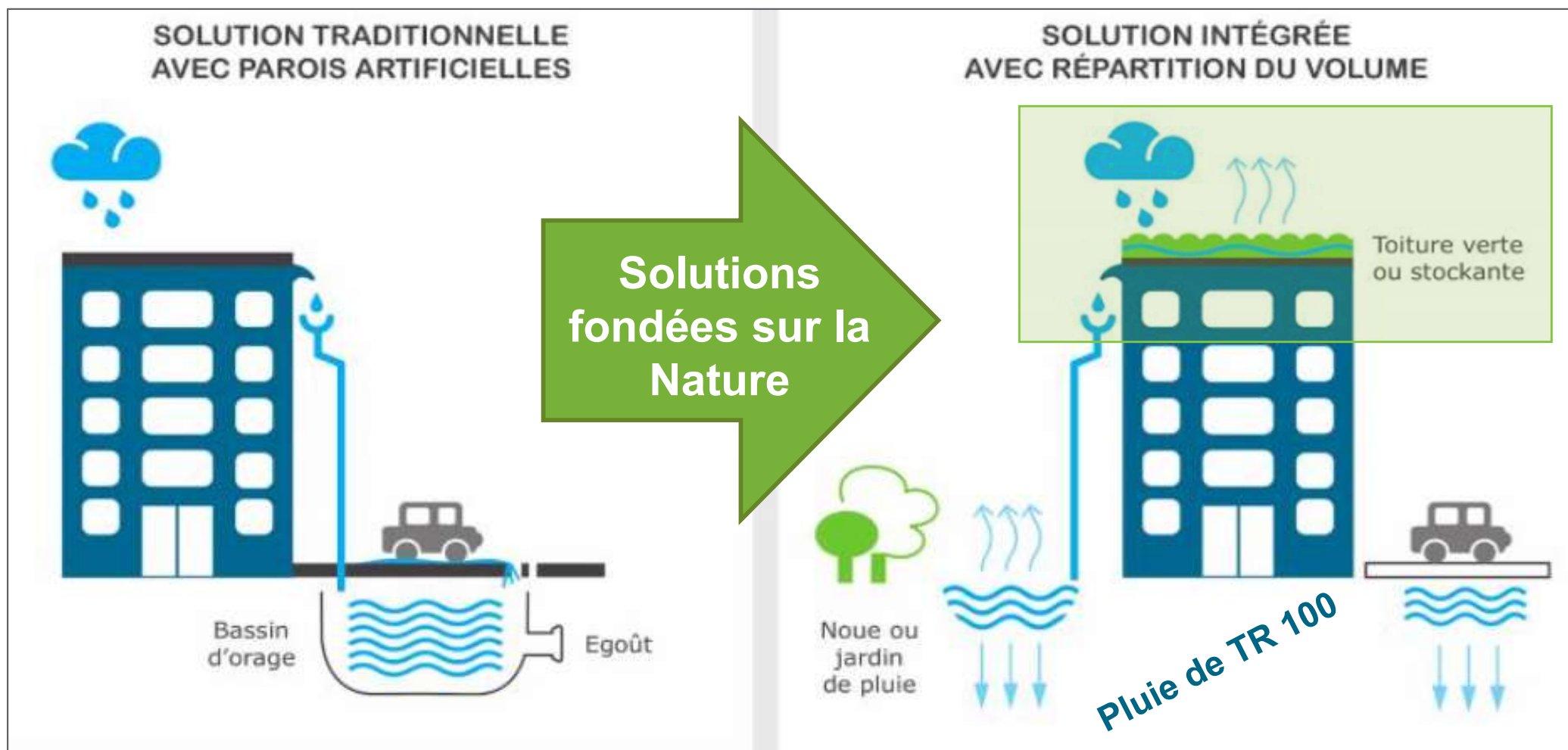
Pluies
fortes



Pluies
extrêmes

Temporiser IN SITU dans des ouvrages multifonctionnels, préférentiellement à ciel ouvert et végétalisés pour rendre aux milieux naturels une eau de bonne qualité.
Viser le zéro rejet.

La gestion des eaux pluviales évolue à Bruxelles



Les toitures extensives

- ▶ Épaisseur de substrat **limité et pauvre**
 - Plantes à très faible développement et supportant la sécheresse
- ▶ Moins contraignante au niveau du poids pour la dalle de toit du bâtiment

	Toitures extensives
Type de végétation	Herbacées, plantes grasses et mousses adaptées
Épaisseur de substrat	5 à 10 cm
Surcharge occasionnée	30 à 100 kg/m ²

Toiture extensive

Source / Bron : www.gebaeudegruen.info

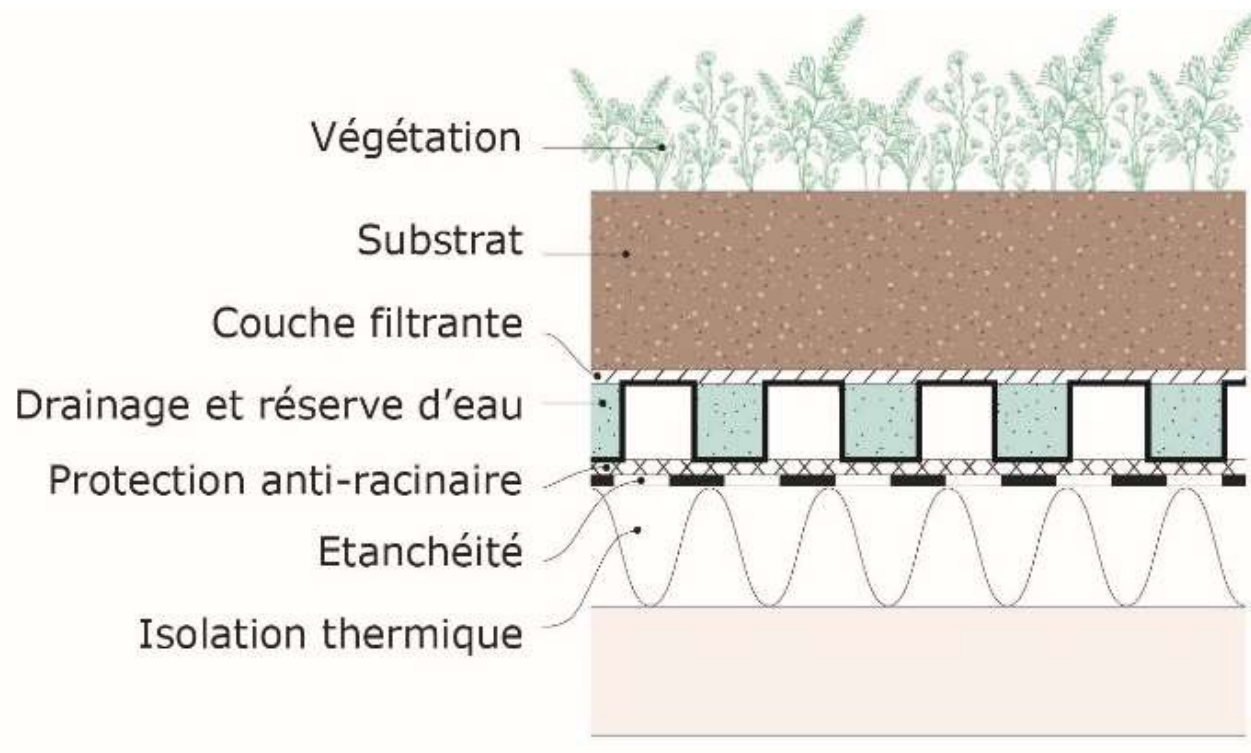


Les toitures intensives et semi-intensives

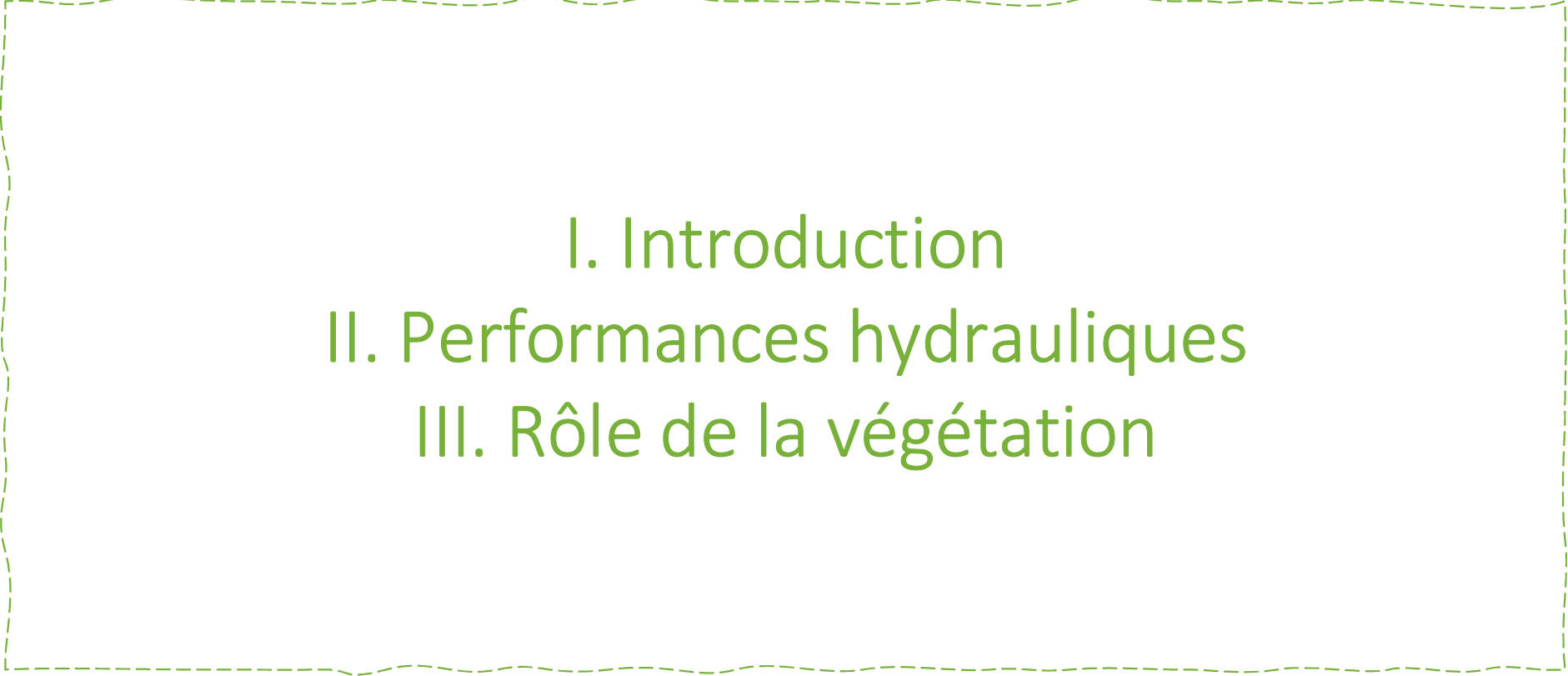
- ▶ Les toitures végétales intensives et semi-intensives se différencient par :
 - Leur **épaisseur de substrat**,
 - Le **type de plantations** qu'elles peuvent accueillir
 - La **surcharge** qu'elles impliquent sur le bâtiment

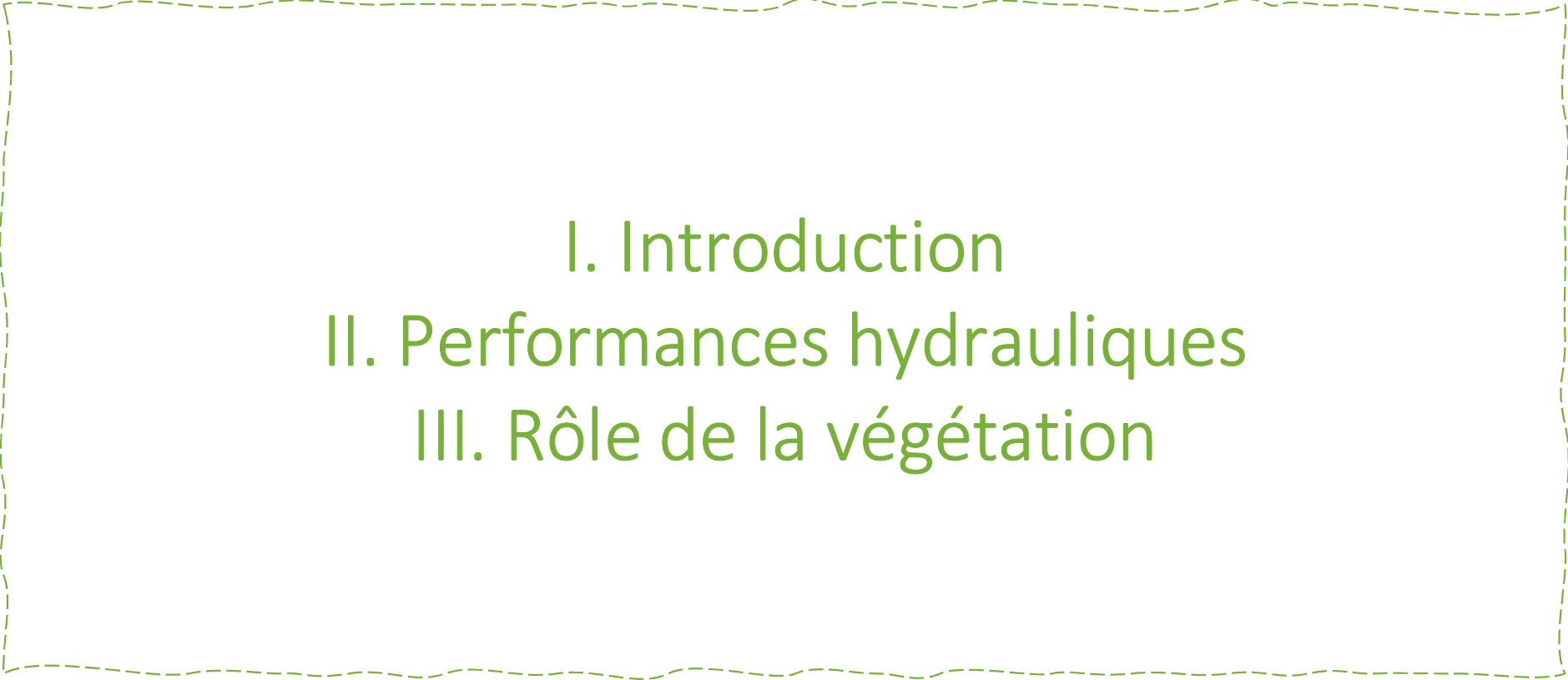
Toiture semi-intensive
Source / Bron : bergerjardins.fr

	Toitures intensives	Toitures semi-intensives
Type de végétation	Herbacées et arbustes. Petits arbres si ép. substrat > 60 cm	Herbacées et arbustes
Épaisseur de substrat	> 30 cm	> 10 à 30 cm
Surcharge occasionnée	> 400 kg/m ²	> 100 à 400 kg/m ²



Quelles
caractéristiques
influencent les
**performances
hydrauliques**
?

- 
- I. Introduction
 - II. Performances hydrauliques
 - III. Rôle de la végétation



I. Introduction
II. Performances hydrauliques
III. Rôle de la végétation



MIDI DE L'EAU WATER MIDDAG

LA GESTION DES EAUX PLUVIALES PAR LES
TOITURES VÉGÉTALISÉES
REGENWATERBEHEER DOOR GROENE DAKEN

19 OCTOBRE 2023

19 OKTOBER 2023

Stéphan Truong

Facilitateur Eau pour LBE



bruxelles
environnement
leefmilieu
brussel
.brussels



FACILITATEUR EAU
FACILITATOR WATER

MIDI DE L'EAU WATER MIDDAG

LA GESTION DES EAUX PLUVIALES PAR LES
TOITURES VÉGÉTALISÉES
REGENWATERBEHEER DOOR GROENE DAKEN

19 OCTOBRE 2023
19 OKTOBER 2023

Stéphan Truong

Facilitateur Eau pour LBE



FACILITATEUR EAU
FACILITATOR WATER

RENDEZ-VOUS LE 5/12
pour le prochain Midi
GESTION DES EAUX PLUVIALES,
UNE OPPORTUNITÉ D'ACCUEIL
POUR LA BIODIVERSITÉ

MIDI DE L'EAU WATER MIDDAG

**Questionnaire
d'EVALUATION**

**MERCI
BEDANKT**

CONTACT

facilitateur.eau@environnement.brussels

PERFORMANCES DES TOITURES VÉGÉTALISÉES POUR LA GESTION DES EAUX PLUVIALES

Midi technique de l'Eau, Bruxelles Environnement

19 octobre 2023, en visio-conférence

Emmanuel Berthier, David Ramier

Performances hydrologiques des TV extensives

Beaucoup étudiées ces dernières années

Toiture expérimentale sur le site de Trappes du Cerema:

En réhabilitation ; pente très faible = favorise la rétention (flash sur l'étanchéité)

Climat: Océanique dégradé (moyenne annuelle pluie: 650mm ; Evapotranspiration potentielle: ~900mm)



6 compartiments (35m²) avec différentes structures:

- végétation: **S**edum, **G**raminée, **N**o végétation
- substrat **E**xtensif ou **I**ntensif
- substrat fin (**3**cm) ou plus épais (**15**cm)
- couche de drainage avec pou**Z**olane ou plaque de pol**Y**styrène

+ 2 compartiments classiques:

- juste étanchéité en plaques de **B**itume
- étanchéité en bitume + **G**Ravier

Toiture expérimentale sur le site de Trappes du Cerema

+ mesures en continu et au pas de temps de la minute (2011-2018): pluie, conditions météorologiques, ruissellement vers les gouttières, humidité des substrats

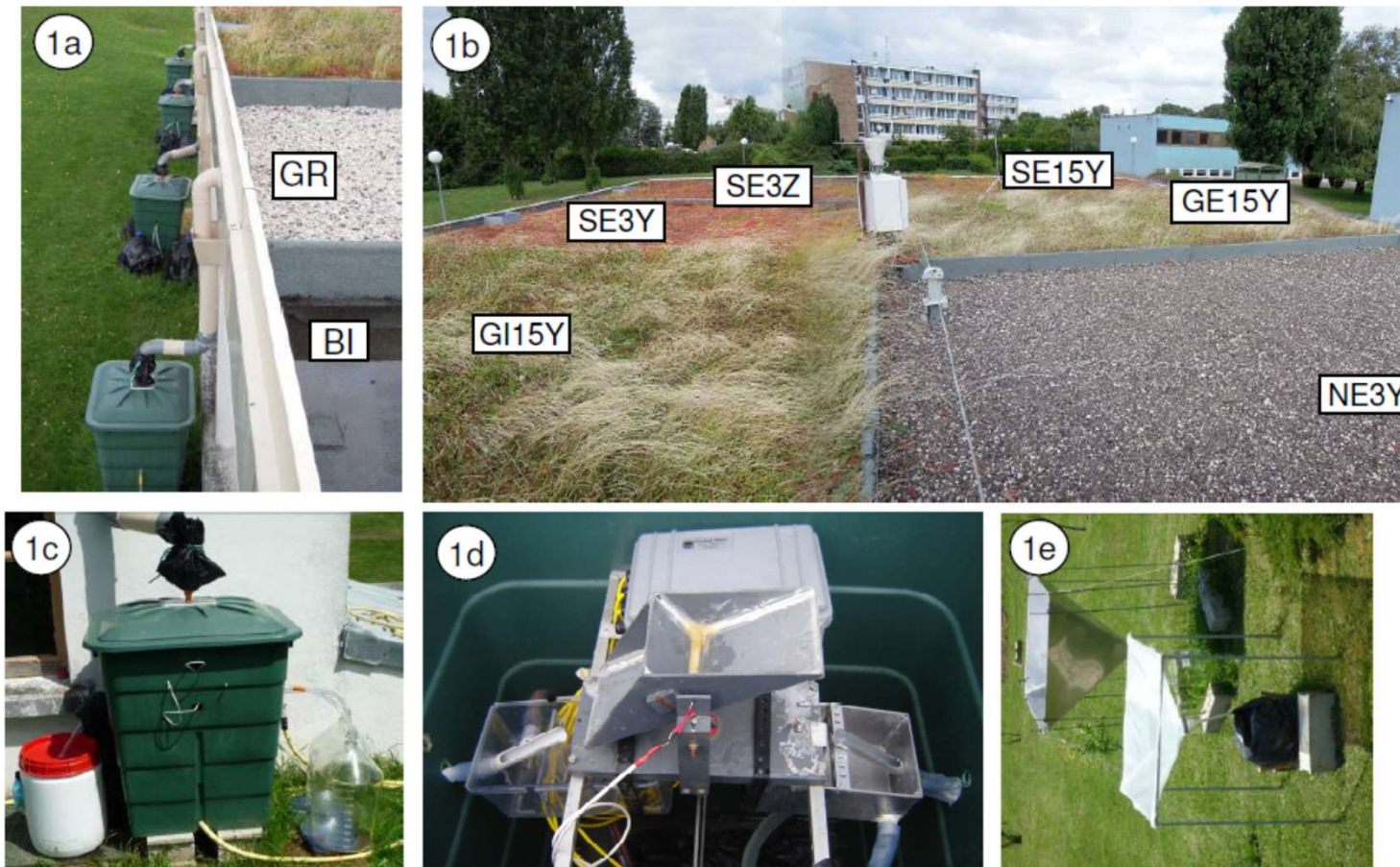


Figure 1 : (1a and 1b) An overview of the 8 experimental surfaces and runoff collection systems - (1c) Sampling devices. The green boxes contain equipment for flow and quality measurement detailed on photo (1d). (1e) Atmospheric fallout collectors

6 compartments (35m²) avec différentes structures:

- végétation: **S**edum, **G**raminée, **N**o végétation
- substrat **E**xtensif ou **I**ntensif
- substrat fin (**3**cm) ou plus épais (**15**cm)
- couche de drainage avec pou**Z**olane ou plaque de pol**Y**styène

+ 2 compartiments classiques:

- juste étanchéité en plaques de **B**itume
- étanchéité en bitume + **G**ravier

Photos de la végétation:

Sans arrosage

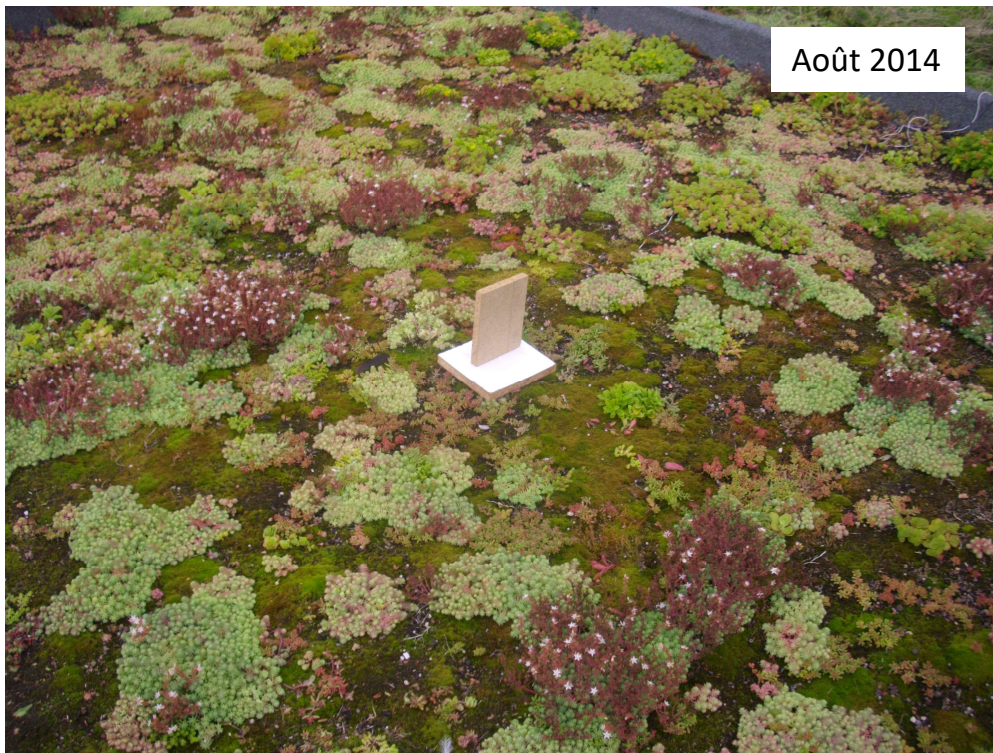
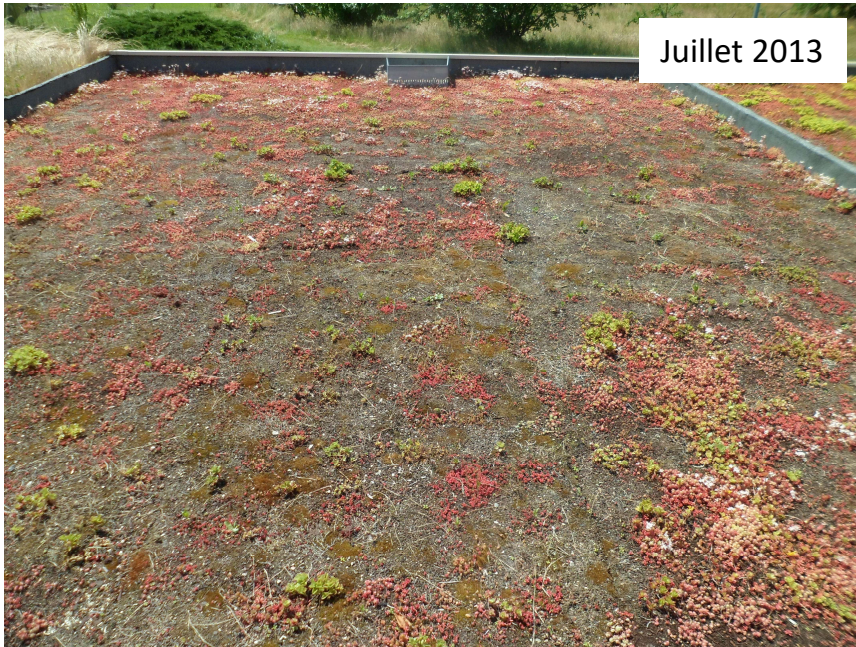
Engrais uniquement lors de la pose (2011)

Arrachage régulier des espèces non-souhaitées



Photos des Sedums:

SE3Y: sedum sur 3cm de substrat



Taux de couverture variable en fonction de la saison, de l'année

Pas toujours « vert »

Photos des herbacés:

GE15Y: graminées sur 15cm de substrat



Taux de couverture élevé

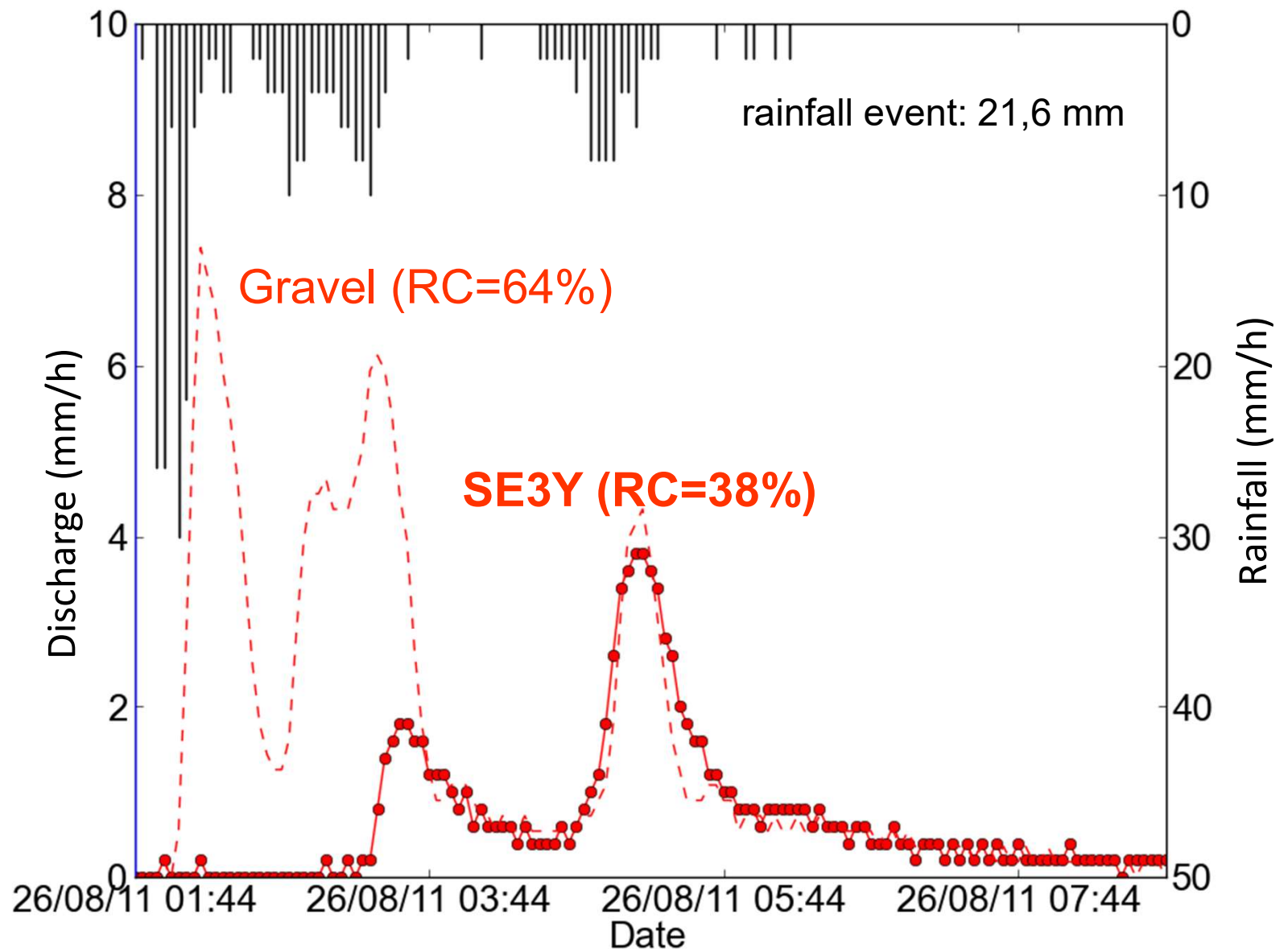
Stress hydrique estival bien visible

Ruissellement lors d'un événement pluvieux

En période estival (=substrat sec à l'origine)

Le ruissellement de la TV apparaît plus tard, grâce à sa capacité de retention

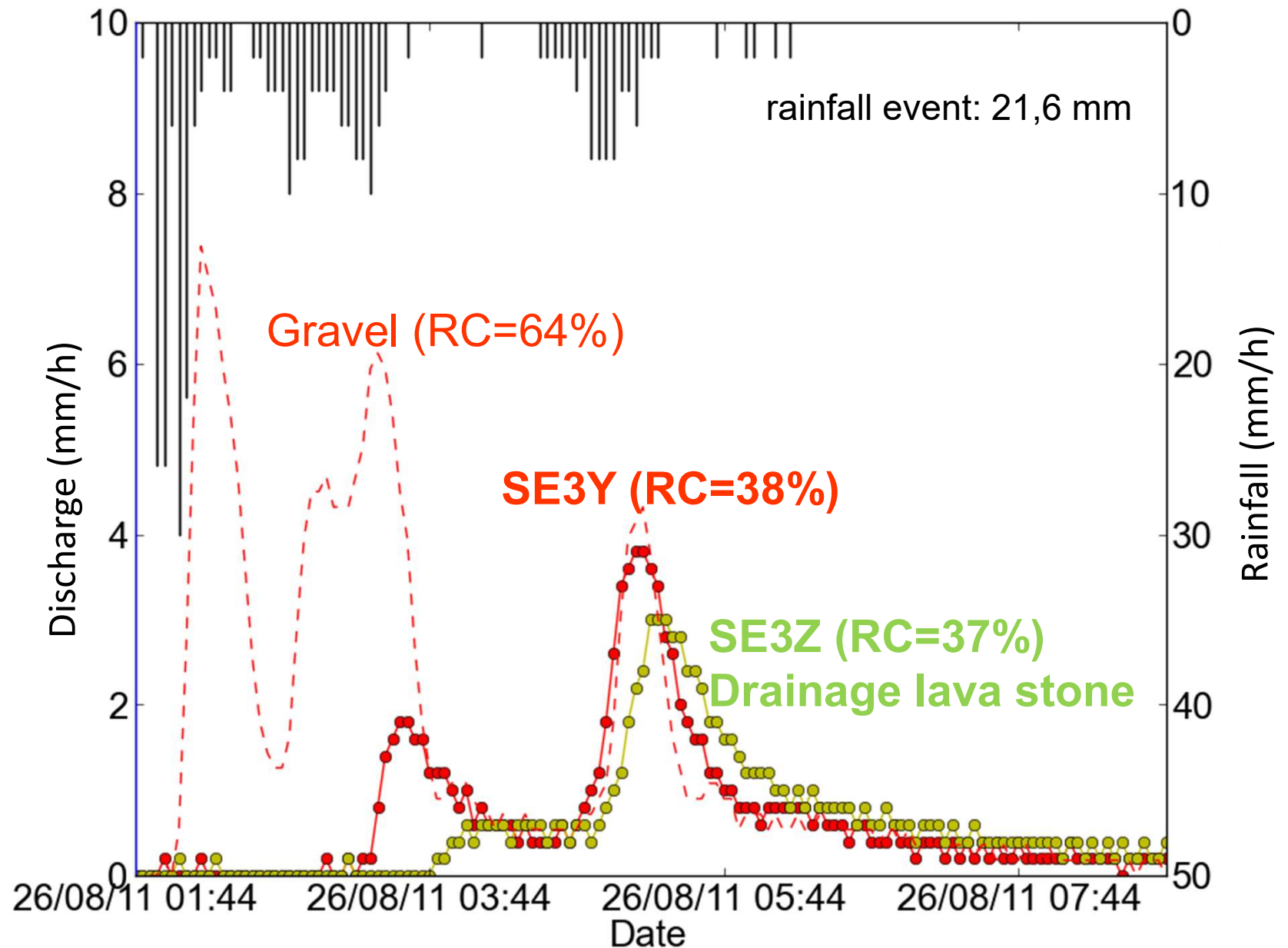
Après, le ruissellement est équivalent à celui d'un toit traditionnel



Ruissellement lors d'un événement pluvieux

En période estival (=substrat sec à l'origine)

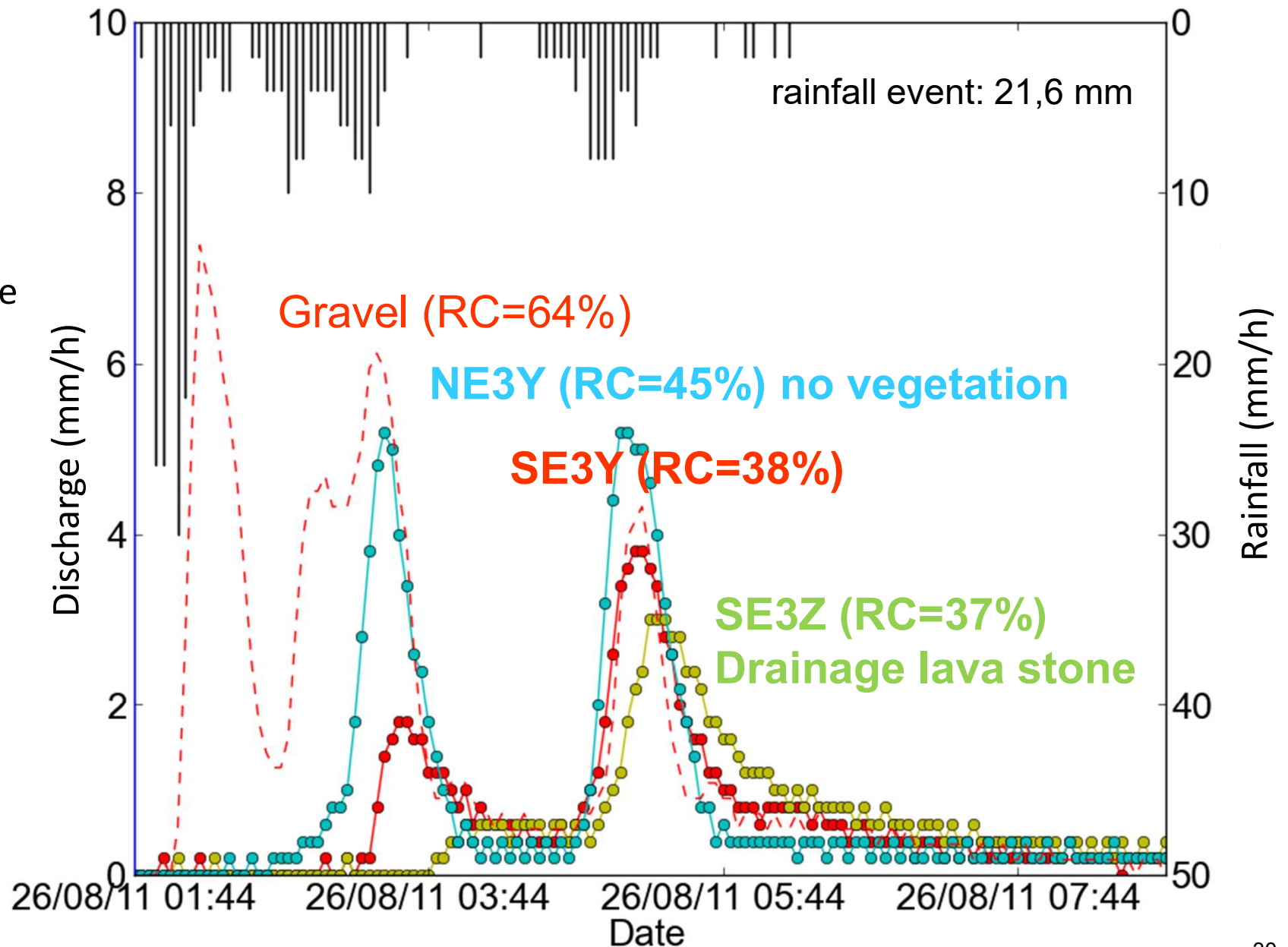
La pouzzolane de la couche de drainage permet de retenir qq. mm de pluie supplémentaires



Ruissellement lors d'un événement pluvieux

En période estival (=substrat sec à l'origine)

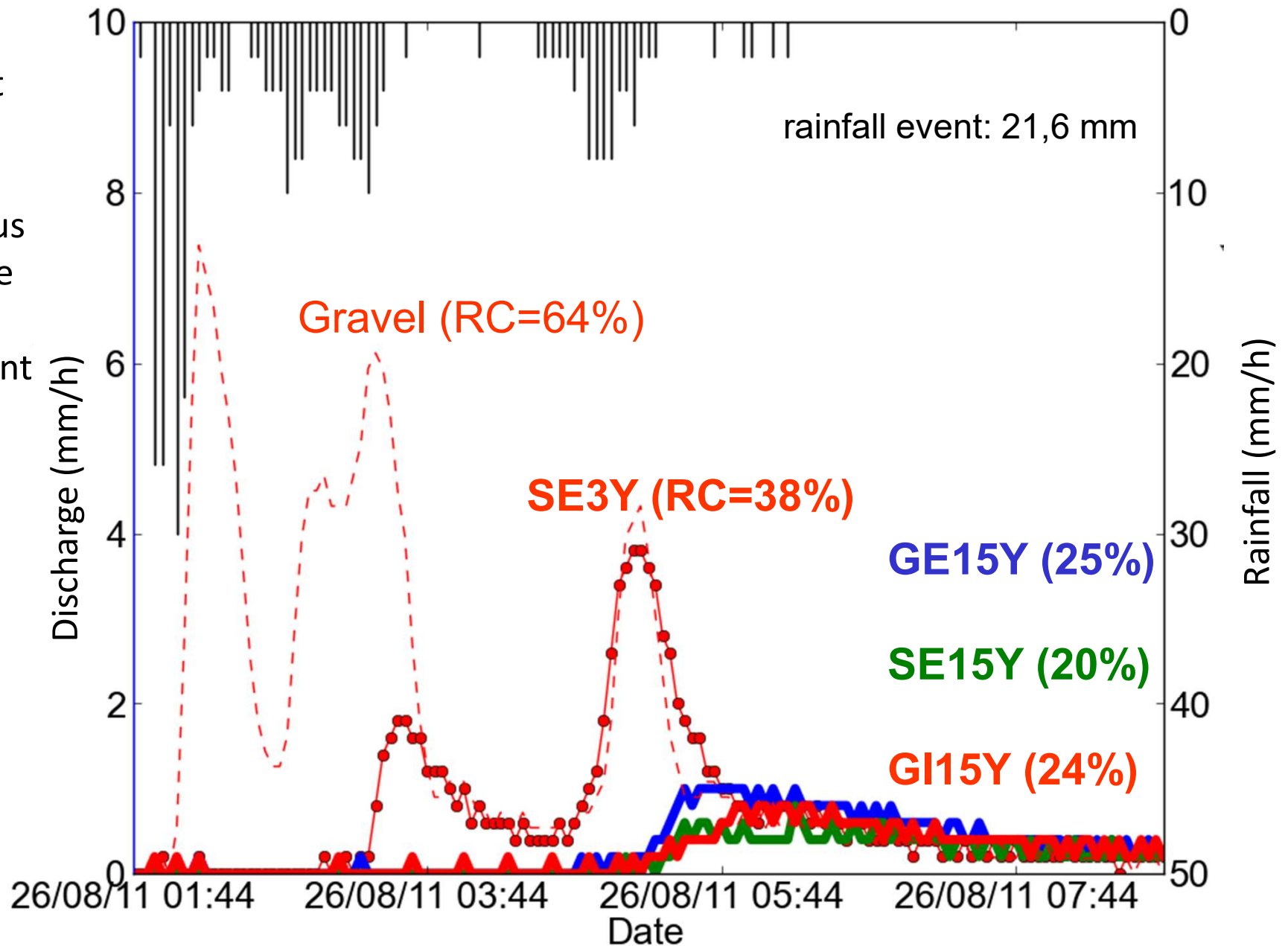
Sans végétation, le ruissellement apparaît plus tôt (rétention uniquement du substrat)



Ruissellement lors d'un événement pluvieux

En période estival (=substrat sec à l'origine)

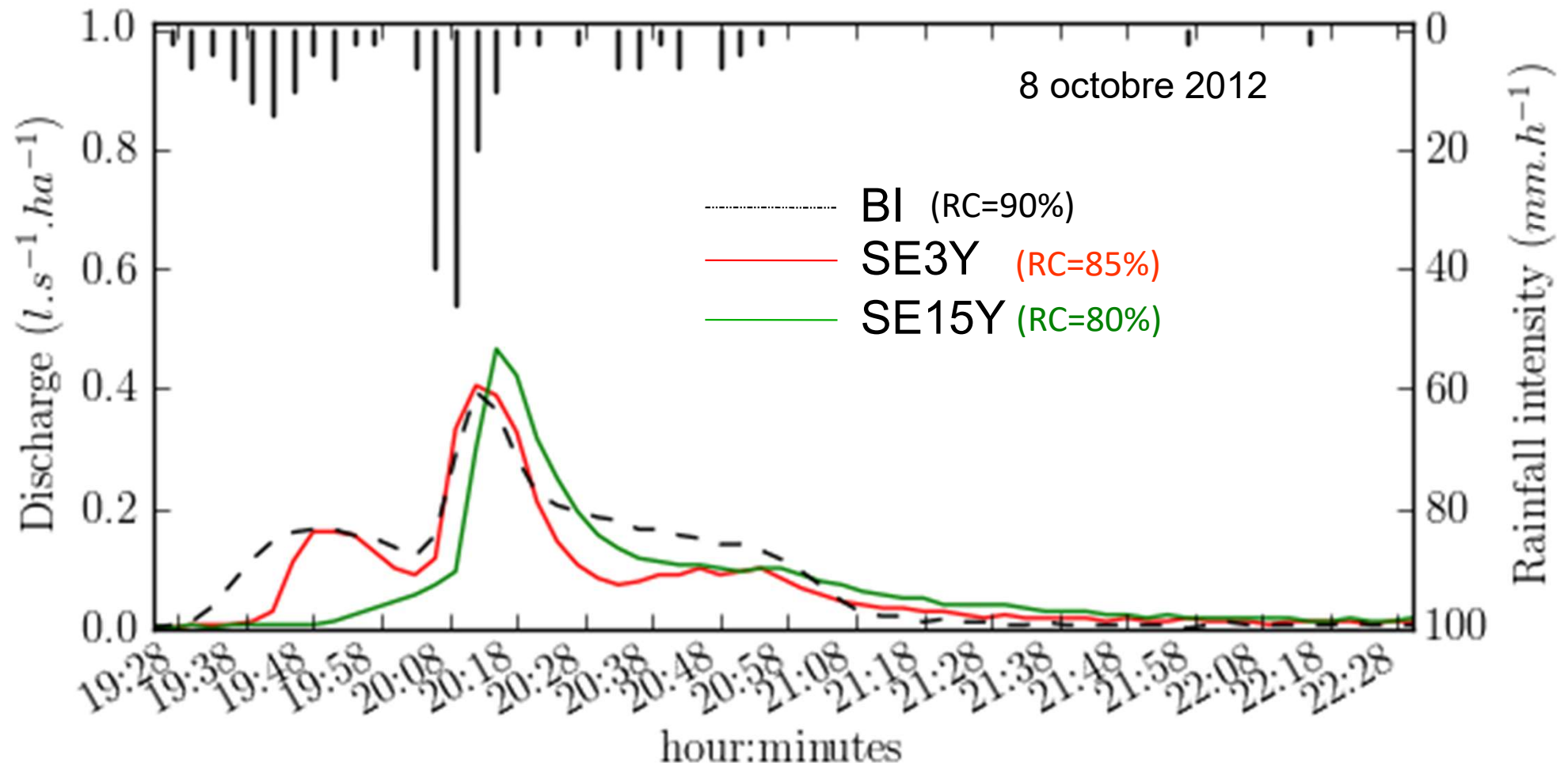
Si le substrat est plus épais, la capacité de rétention est plus importante, et le ruissellement considérablement réduit



Ruissellement lors d'un événement pluvieux

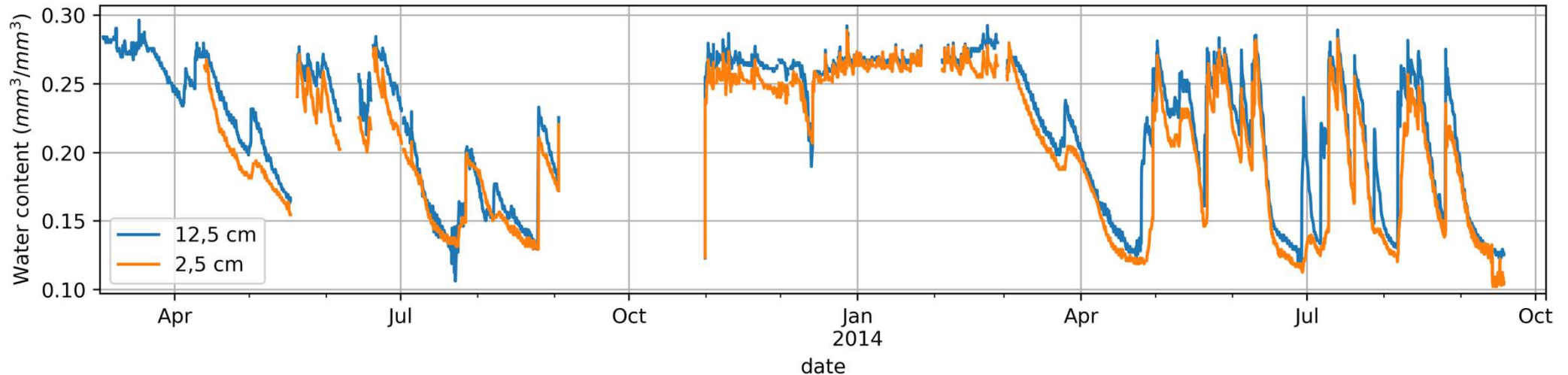
En période hivernale (=substrat déjà humide à l'origine)

La capacité de rétention n'est pas disponible car saturée → les performances sont réduites et limitées



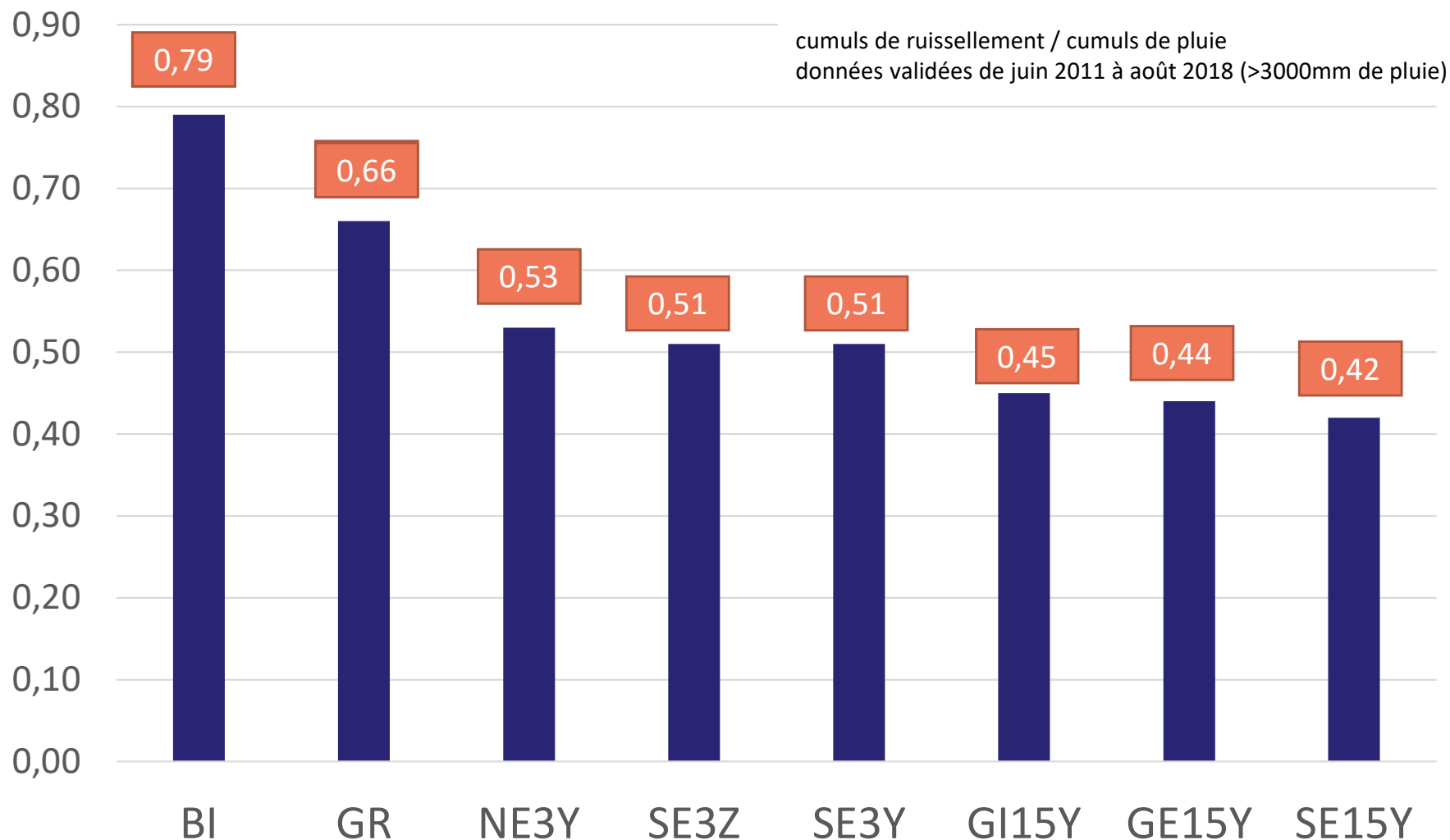
Variation des teneurs en eau dans le substrat

Substrat de 15cm (SE15Y)



- en hiver (période humide et froide), $\theta \sim 25\%$ = humidité maximale retenue par le substrat (le surplus est drainé)
- en dehors, cycles de séchage (ici valeur minimum de 10%), et de rapide humidification dès qu'il pleut

Coefficient de ruissellement pluriannuel



→ entre 60% et 50% de la pluie est évapotranspirée
déterminants: épaisseur substrat > végétation > type de substrat

Coefficient de ruissellement lors d'un événement pluvieux

Forte variabilité d'un événement à un autre

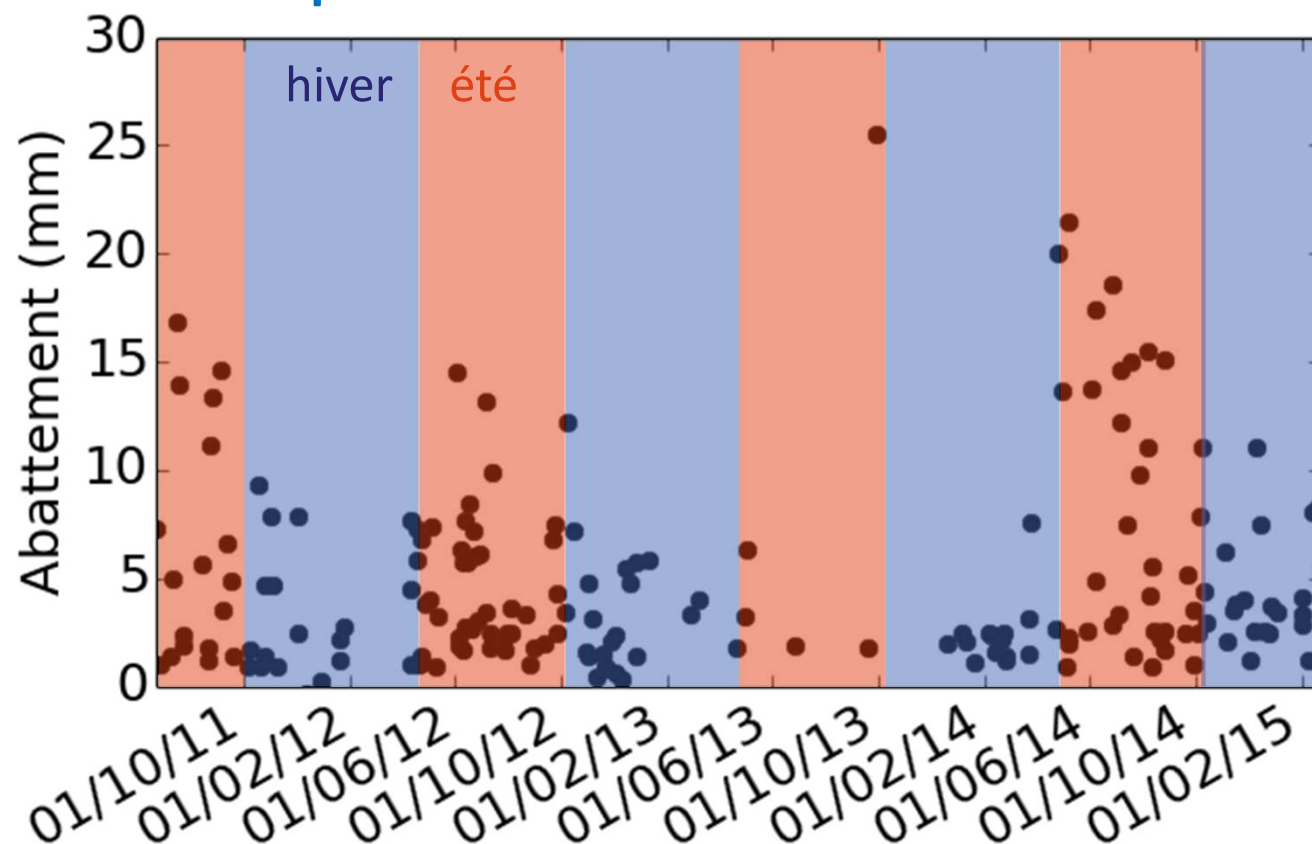
Dépendants de la sélection des événements (cumul de pluie, saison,)

Pour événements fréquents (qq. mm de pluie), entre 0 (substrat initialement sec et événement faible) et 1 (substrat initialement saturé), pour toute les configurations

	Event scale			
	Mean	Median	Max	Min
BI	0.68	0.71	1	0.02
GR	0.36	0.33	0.84	0
SE3Y	0.19	0	0.96	0
SE3Z	0.13	0	0.82	0
NE3Y	0.13	0	0.90	0
SE15Y	0.13	0	0.82	0
GE15Y	0.11	0	0.81	0
GI15Y	0.09	0	0.90	0

Un autre critère pour caractériser la rétention: l'abattement de la pluie (en mm)

pour SE3Y – 184 événements en 4ans



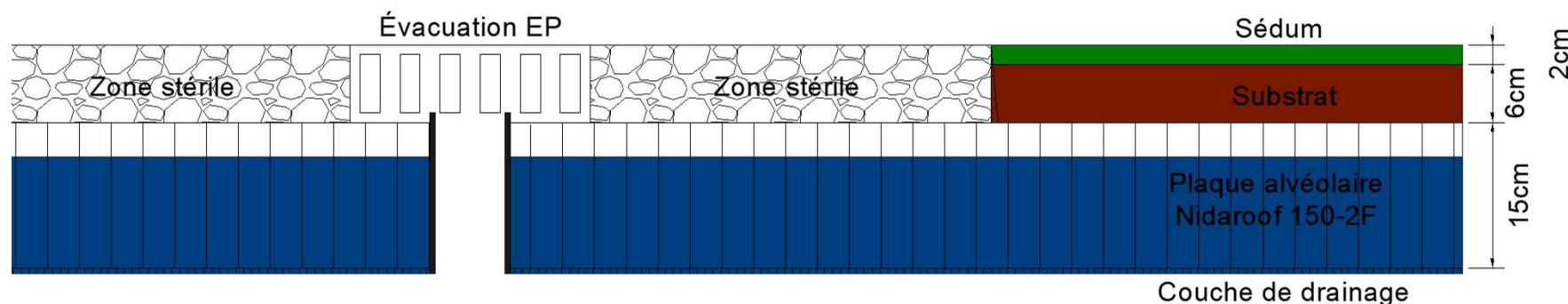
Variabilité importante

Tendance saisonnière
(grâce à
l'évapotranspiration)

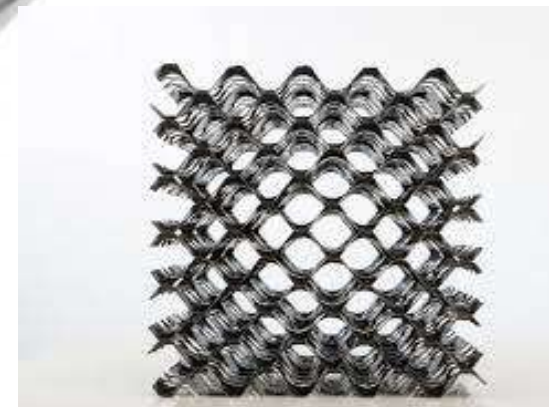
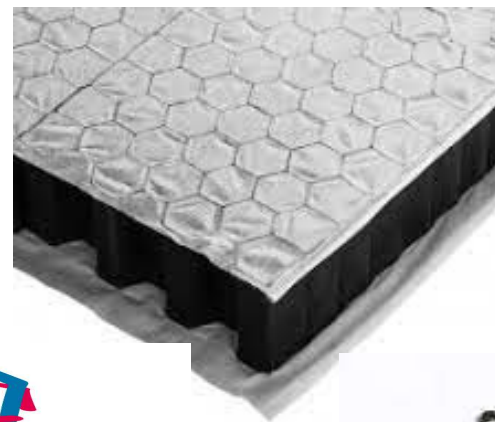
Rétention maximales: substrat de 3cm = ± 15 mm
substrat de 15cm = ± 25 mm

Toiture végétalisée avec stockage

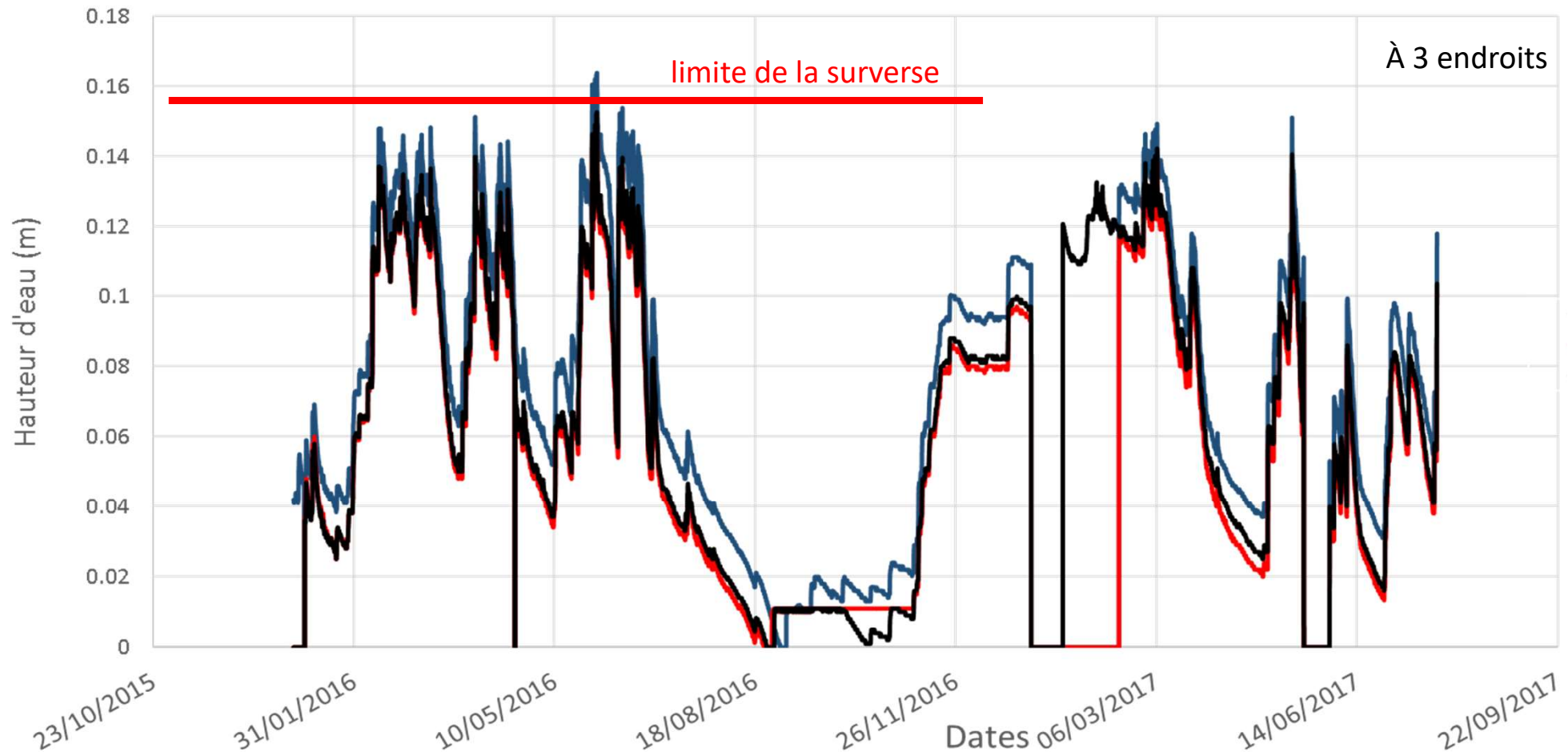
Idée: tendre vers le zéro rejet ; possible car l'évapotranspiration > pluie en moyenne annuelle 🤪



Partenariat avec les sociétés Siplast et Nidaplast sur une toiture expérimentale à Orléans (Fr, 2ans de suivi)



Hauteur d'eau dans les alvéoles de stockage



Varie entre:

0 durant quelques semaines en fin d'été 2016

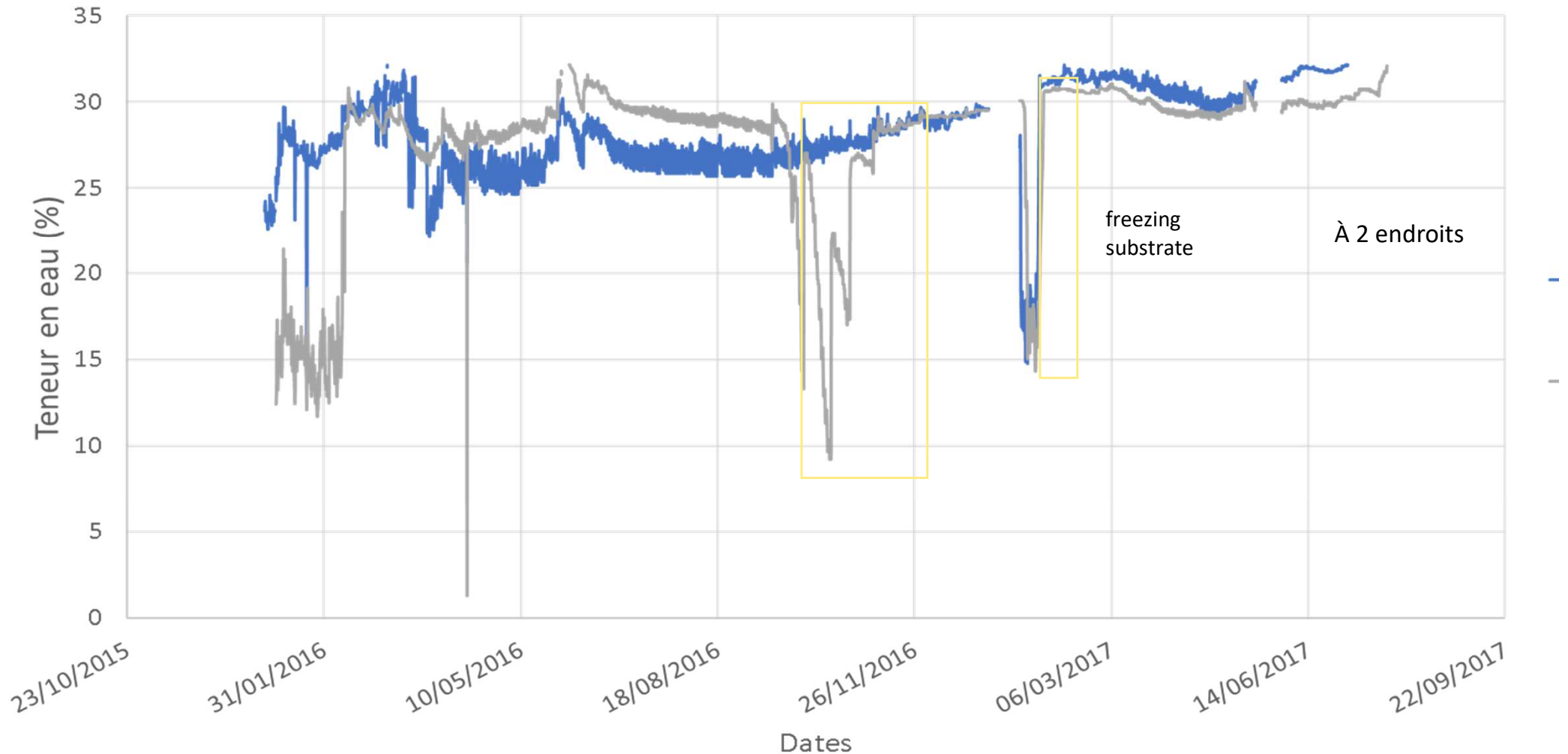
± 15cm stockage plein → surverses

→ Surverses en 2016:

équivalent à 231mm = 33% de la pluie annuelle

sans les 2 orages exceptionnels de mai = 8% de la pluie annuelle

Humidité du substrat au-dessus du stockage



Généralement à sa valeur maximale (25-30%)

Sauf qq. semaines été 2016 = alvéoles vides

→ substrat humide si eau stockée (++ pour la végétation)

Synthèse des performances à partir d'un modèle dédié

2 options de modèles: évapotranspiration minimale ou **maximale**

épaisseur ALV épaisseur SUBS	10cm	15	30	50
5cm	66 (77)	71 (84)	82 (95)	90 (97)
10	66 (79)	71 (86)	82 (95)	90 (97)
20	66 (83)	-	82 (96)	-
30	66 (86)	-	82 (96)	-

Tableau I : abattement annuel obtenu sur 17 années en île-de-France pour une diversité d'épaisseurs d'alvéoles et de substrats (avec comme autres paramètres : CME du substrat = 0,3 ; θ -résiduelle du substrat = 0,05 ; %vide des alvéoles = 95 ; le seuil d'évacuation de l'eau est au sommet des alvéoles). En noir : version 1 du modèle, avec une évaporation minimale ; en rouge : version 2 du modèle avec une évaporation maximale

Epaisseur des alvéoles prépondérante

Tendre vers du 0 rejet n'est pas aisée (objectif réaliste ?)

L'outil FAVEUR



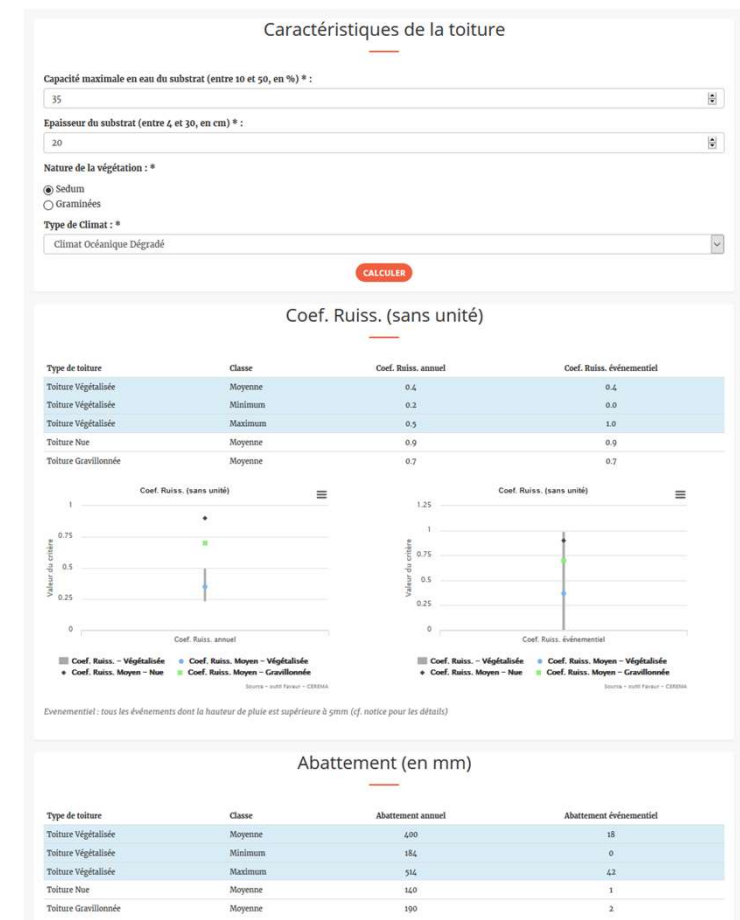
A partir de notre expertise:

- Développement d'un modèle hydrologique, validé
- Grâce à ce modèle, mise en ligne d'un outil permettant d'évaluer les performances de TV extensives

4 paramètres d'un TV extensive: contenu en eau maximale du substrat
épaisseur du substrat
type de végétation (sedum, graminée)
climat (océanique dégradé, méditerranéen)

Résultats:

performances de rétention sur 2 critères (abattement et coefficient de ruissellement), à 2 échelles de temps (année et événement), avec comparaison avec des toitures classiques



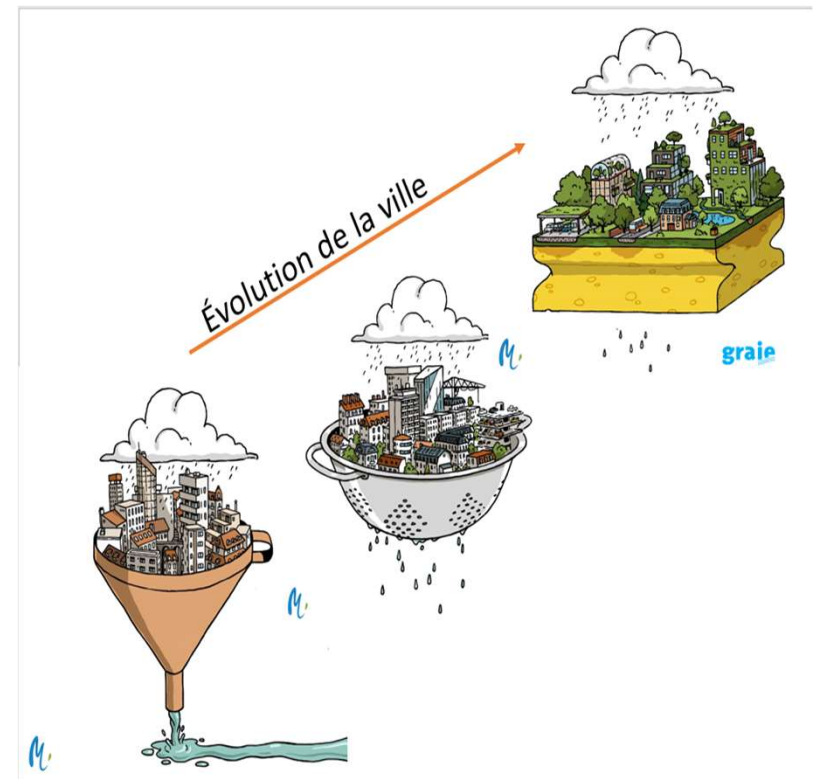
LES TOITURES VÉGÉTALISÉES POUR LA GESTION DES EAUX PLUVIALES: C'EST POSSIBLE, C'EST EFFICACE !!

Une technique répandue et fiable, avec des options intéressantes (stockage, régulation de débit,)

Des performances établies et importantes: surtout en abattement de ruissellement, toutefois variables en fonction de la saison et de l'événement pluvieux (=éponge)

Il existe des outils pour estimer et dimensionner ces performances, le critère d'abattement annuel est à privilégier

Et les toitures végétalisées apportent aussi d'autres bénéfices: isolation, support de biodiversité, paysage,



PERFORMANCES HYDROLOGIQUES DES TOITURES VÉGÉTALISÉES

Ressources supplémentaires:

Association Adivet (Fr) qui regroupe des acteurs de la filière Végétalisation des bâtiments (Règles professionnelles et GreenRoofScore)

Pour la gestion à la source:

site de Meli-Melo: <http://www.graie.org/eaumelimelo/>

site du Graie: <http://www.graie.org/graie/index.htm>



Contact:

Emmanuel Berthier, équipe de recherche TEAM
du Cerema d'Île-de-France,
emmanuel.berthier@cerema.fr



CEREMA = UNE APPROCHE DE L'ECOSYSTEME URBAIN



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité



Cerema

CLIMAT & TERRITOIRES DE DEMAIN

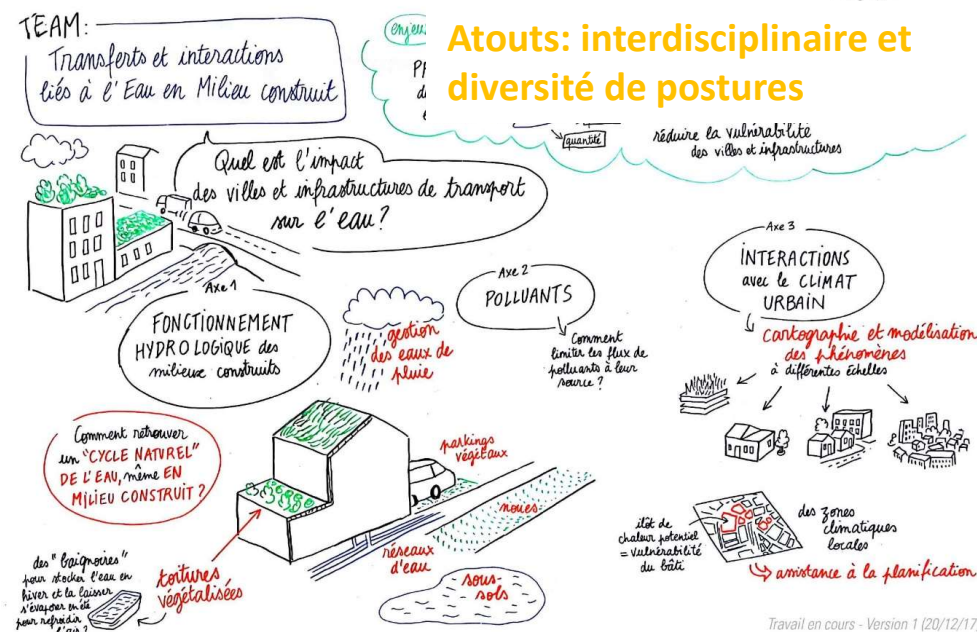
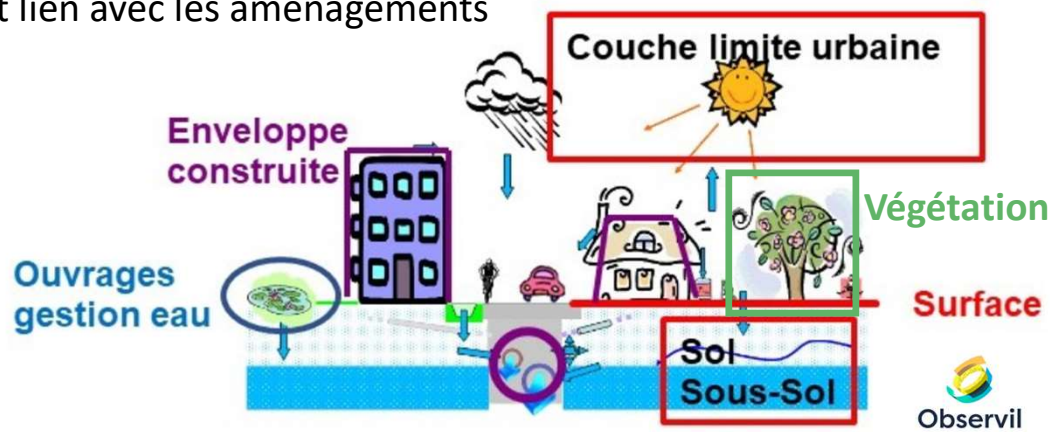
Une ville en
transition...

- Évolution urbaine
- Nouvelles pratiques
- Changement climatique

→ nouvelles façons de faire
et gérer la ville



continuum sol-plante-atm-eau
et lien avec les aménagements



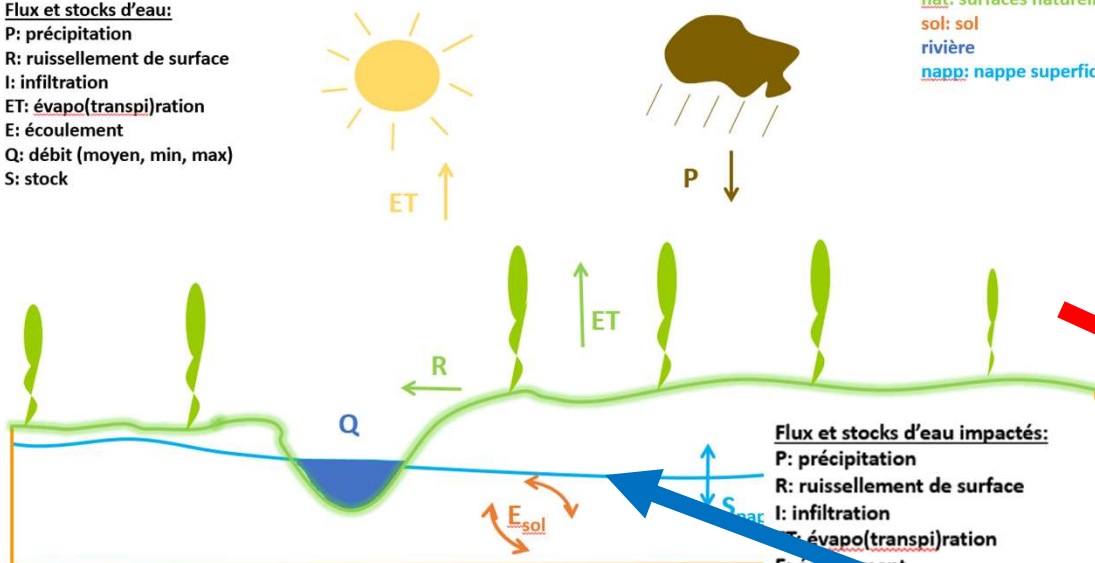
RENATURER LA GESTION DE L'EAU PLUVIALE

Flux et stocks d'eau:

P: précipitation
R: ruissellement de surface
I: infiltration
ET: évapo(transpi)ration
E: écoulement
Q: débit (moyen, min, max)
S: stock

Compartiments:

nat: surfaces naturelles
sol: sol
rivière
napp: nappe superficielle

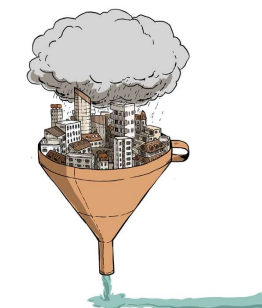


Flux et stocks d'eau impactés:

P: précipitation
R: ruissellement de surface
I: infiltration
ET: évapo(transpi)ration
E: écoulement
A: apports
D: drainage/prélèvement
Q: débit (moyen, min, max)
S: stock

Urbanisation = modifications des canopée, surface, végétation, et sol

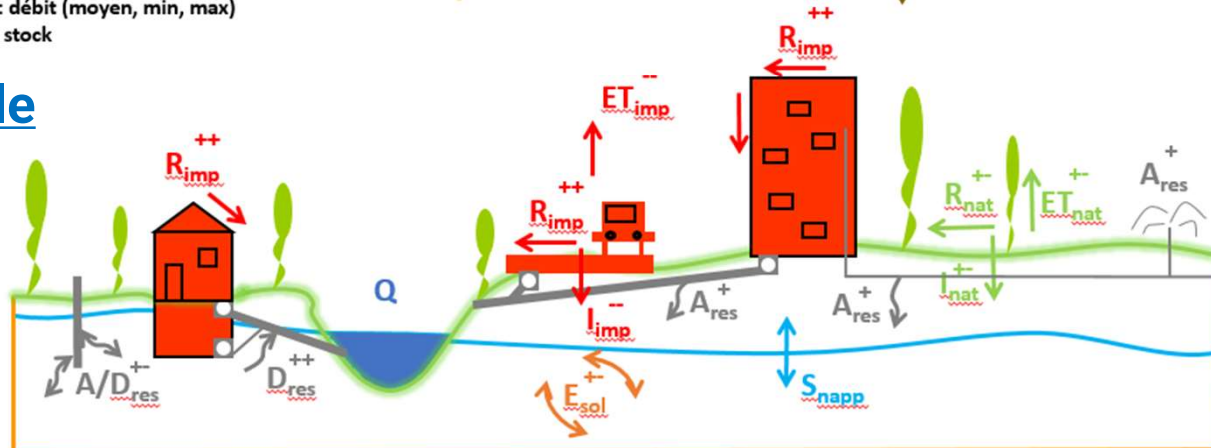
Modification de l'impact:
++ augmentation
- réduction
0: aucun impact
+- impact variable



Compartiments impactés:

imp: surfaces imperméabilisées
nat: surfaces naturelles
res: réseaux d'eau
sol: sol
rivière
napp: nappe superficielle

Idée simple: recouvrir un cycle « naturel »



3 GRANDS PRINCIPES POUR RENATURER

1. Limiter le volume de ruissellement
(réduction surfaces imperméables, favoriser l'infiltration / la rétention / l'évapotranspiration)



2. Limiter la concentration de ruissellement

3. Concevoir des ouvrages plurifonctionnels

Services rendus: Régulation EP (inondation, rejets polluants, recharge nappe), Régulation micro-climat, Support de biodiversité, Récréations / loisirs, Plaisir paysager, Sensibilisation, éducation (implication citoyenne)



Jardin argenté sur le campus urbain du Moulon, Gif-sur-Yvette (Essonne)



Concentration des flux d'eau et de polluants



Surfaces « naturelles »

Surfaces poreuses végétalisées

Apports diffus par ruissellement superficiel sur sols imperméables et végétalisés

Bordure et cunette alimentant une noue végétalisée

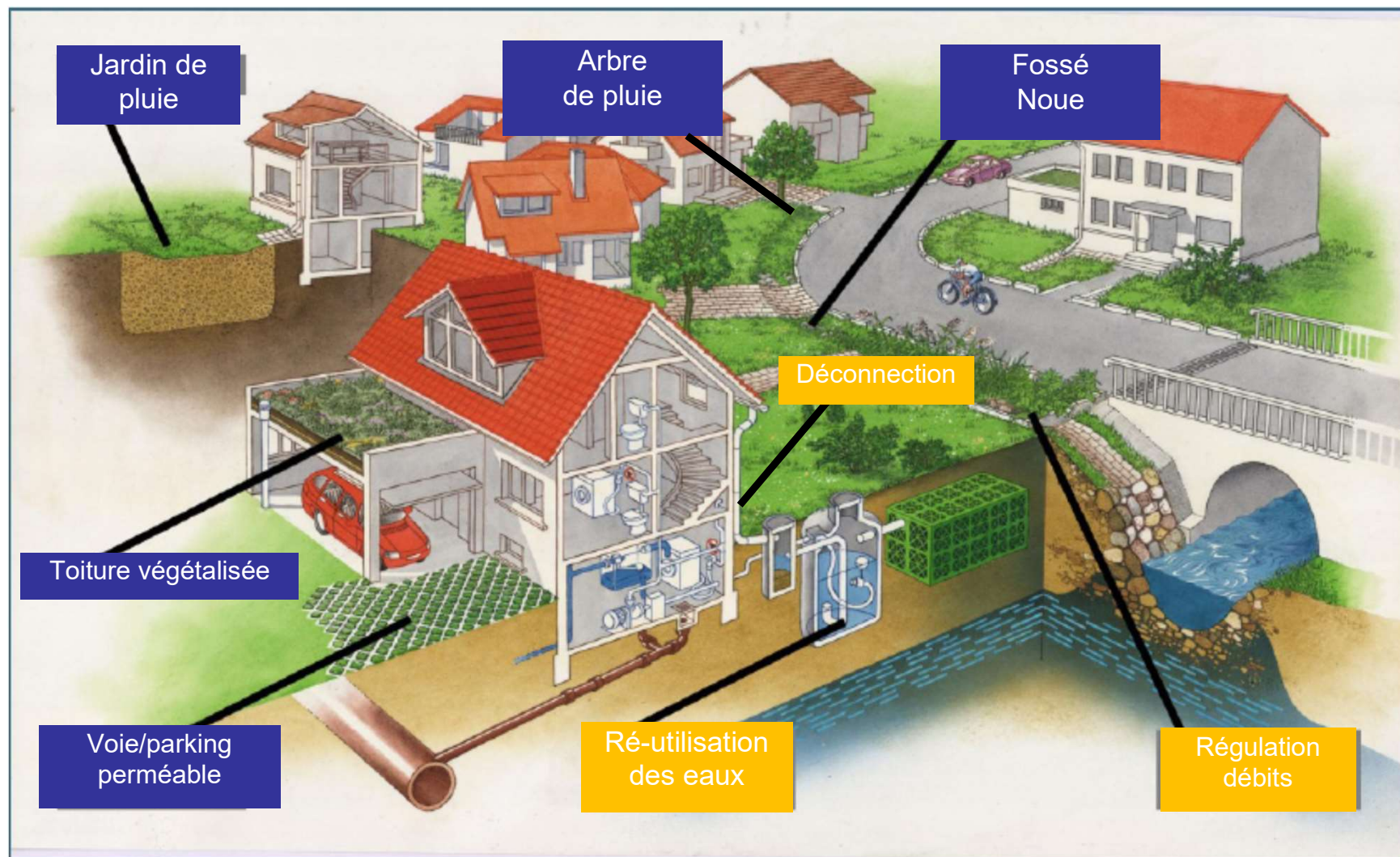
Transport et/ou stockage dans des infrastructures souterraines via des bouches avaloirs



désimperméabilisation

déconnexion

AVEC DES SOLUTIONS FONDÉES SUR LA NATURE



Adapté de Bayerisches Landesamt für Umwelt

Toitures végétalisées

- Structure multi-couches:

L'étanchéité (anti-racinaire), une couche de drainage et/ou stockage, le substrat, la végétation



intensive GR



semi-intensive GR



extensive GR

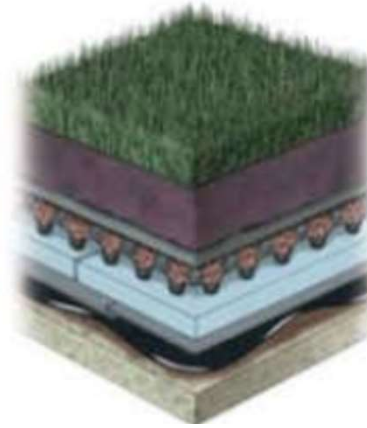
Intensive = jardin sur le toit = végétation haute et dense, substrat épais et organique = structure lourde

Extensive = végétation petite et résistante (sedum, mousse, herbacée), substrat fin et grossier

Toiture Végétalisée Extensive (T)



intensive GR



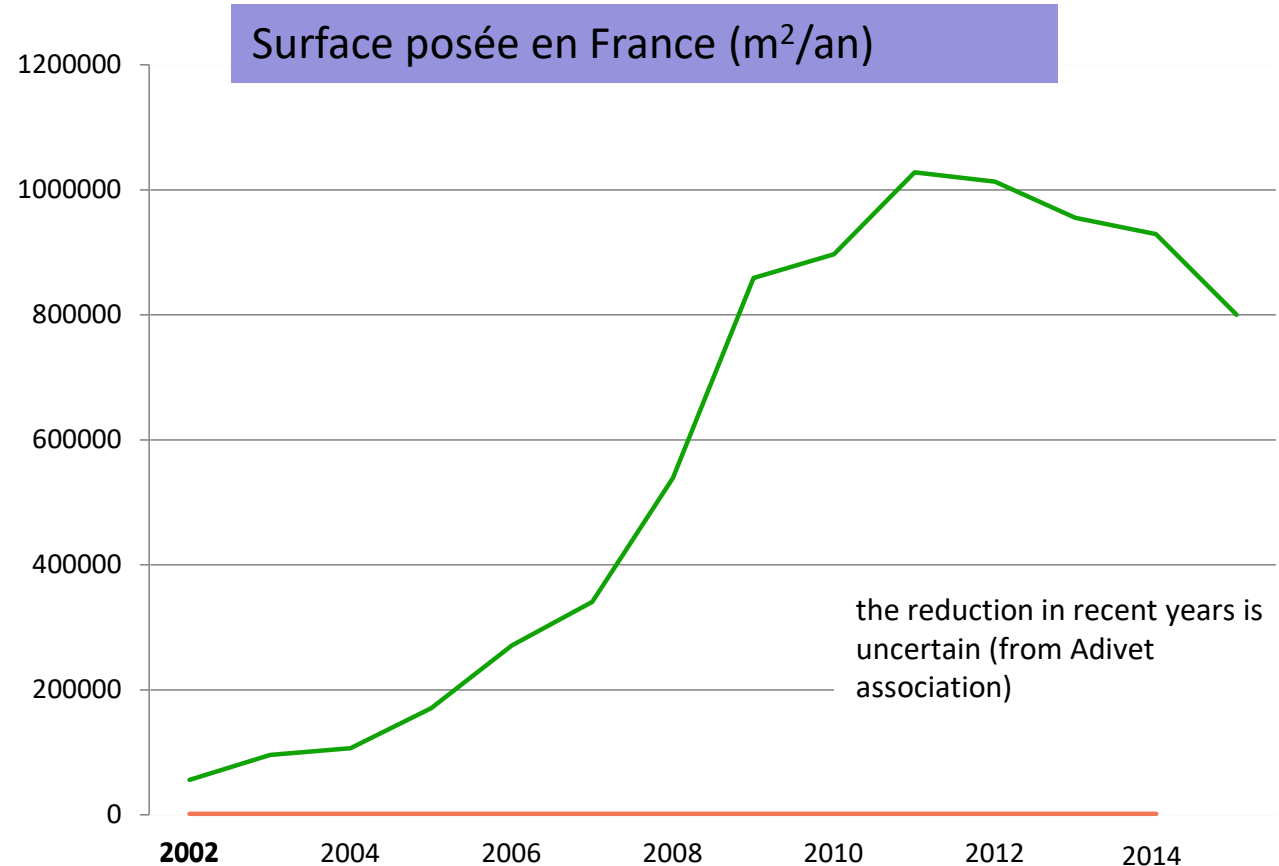
semi-intensive GR



extensive GR

Toiture terrasse végétalisée extensive

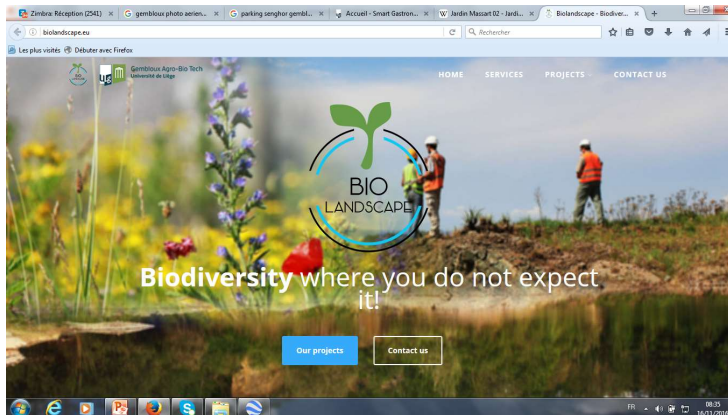
- Technique qui se développe dans de nombreuses villes à travers le monde



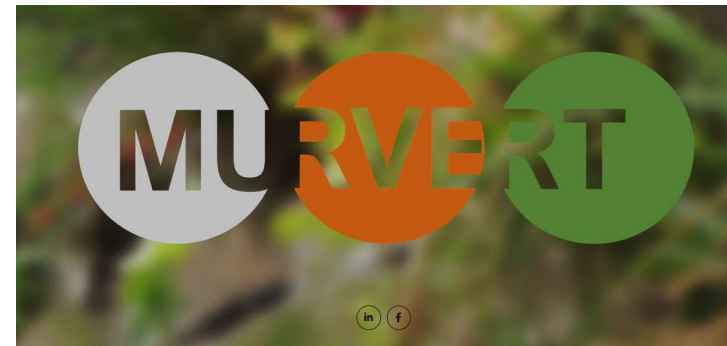
- Point d'attention:
 - Coût supérieur (1.2 à 1.5 fois plus élevé qu'un toit Classique ; 100 à 150 €/m² pour une toiture terrasse extensive)
 - Surcharge de 50 à 150 kg / m²
 - Entretien de la végétation: arrosage sous certains climats et pour certaines espèces, enlever les végétaux non-souhaités (arbustes, ...)

Le rôle de la végétation dans les performances hydrauliques des toitures végétalisées

Grégory MAHY – Lucie RIVIERE



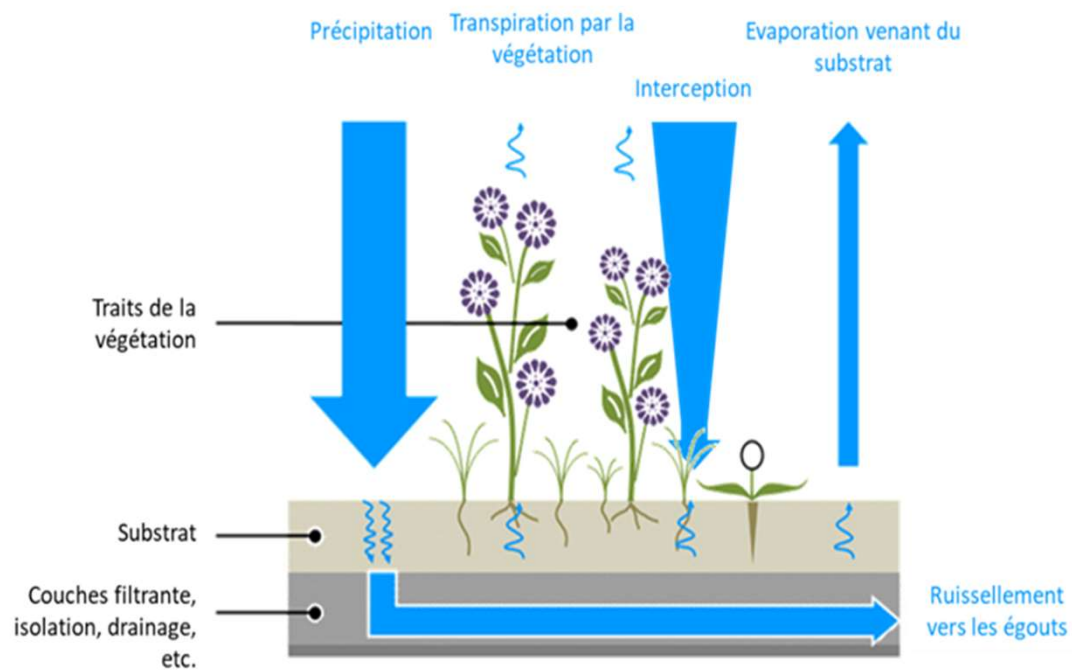
<http://biolandscape.eu>



CONNECTEZ LA VILLE À LA NATURE

<http://murved.be>

Midi technique "La gestion des eaux pluviales par les toitures végétalisées
19 octobre 2023 | Bruxelles Environnement



Détention : ralentissement = délai entre le pic d'écoulement et le pic de l'intensité des précipitation

Rétention : quantité d'eau qui reste dans le système et qui sera évapotranspirée = différence entre la quantité d'eau écoulee et la quantité d'eau précipitée.

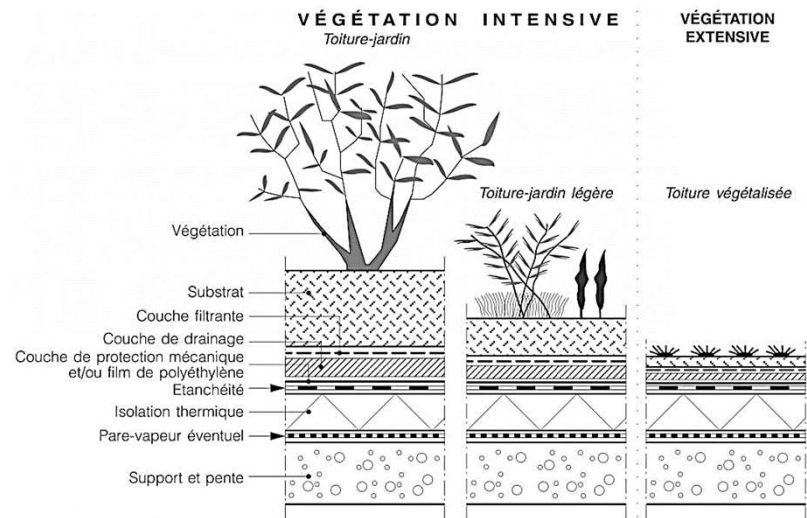
Detention – Ruissellement

=

Precipitations

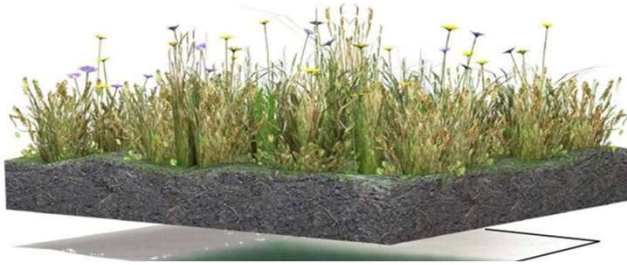
-

f (Interception de la pluie, Stockage dans le sol, Evapo-transpiration, Evaporation du sol, Couche drainante).



→ Le service de régulation de l'eau rendu est-il comparable?

Hypothèses



Végétation

Substrat

Traits fonctionnels

Caractéristiques morphologiques, physiologiques ou phénotypiques des organismes qui influencent leurs processus dans l'écosystème

Traits des végétaux

Interception : des plantes basses ou en touffes interceptent moins que des plantes hautes

Retention : les plantes avec des systèmes racinaires touffus 'bouchent' les pores du sol et diminuent le stockage dans le sol

Evapotranspiration : surface des feuilles, biomasse

Hauteur

Couvert

Surface foliaire / Masse foliaire

Biomasse

Type racinaire

Diversité des espèces végétales

- Plus d'interception avec une plus grande richesse en espèces – plus grande diversité d'architecture, plus de surface d'interception
- Diversité de types de racines : Meilleure exploration du sol

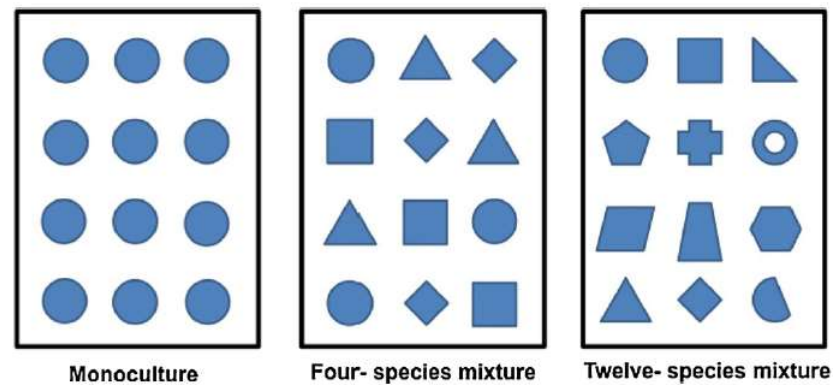
Amount of water runoff from different vegetation types on extensive green roofs:
Effects of plant species, diversity and plant structure

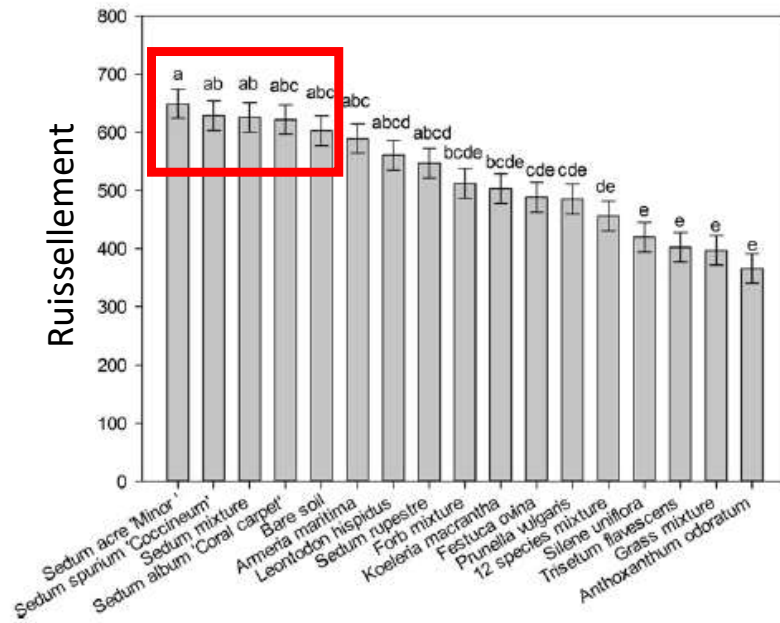
Ayako Nagase^{a,*}, Nigel Dunnett^{b,1}

Landscape and Urban Planning 104 (2012) 356–363

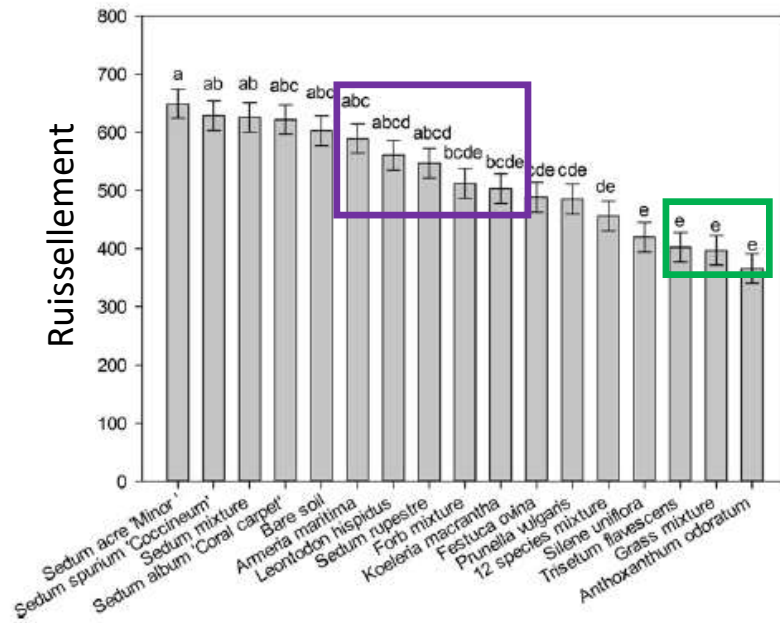


Pluies simulées
50 mm/h – 100
mm/h



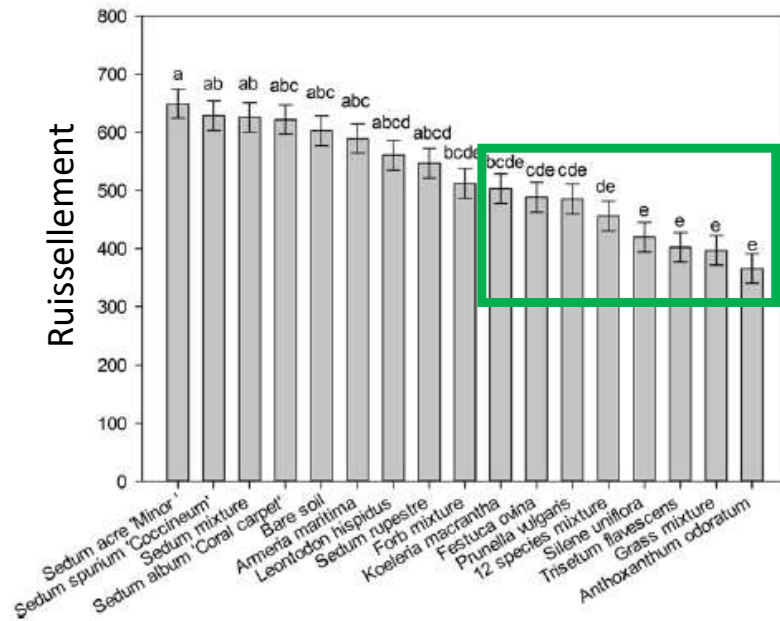


Un tapis de plantes grasses ne diminue pas le ruissellement par rapport à un sol nu



Un tapis de plantes grasses ne diminue pas le ruissellement par rapport à un sol nu

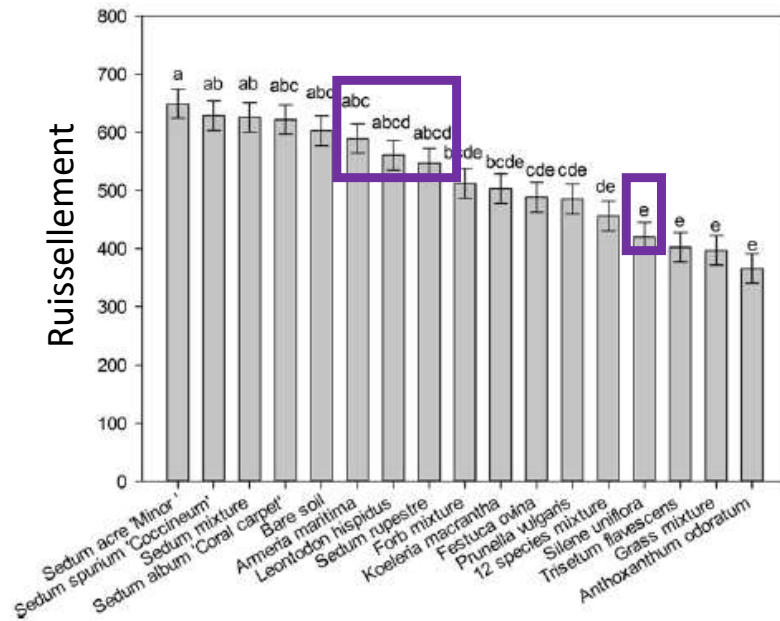
Graminées > Plantes à fleurs



Un tapis de plantes grasses ne diminue pas le ruissellement par rapport à un sol nu

Graminées > Plantes à fleurs

Pas de différences entre les espèces de graminées



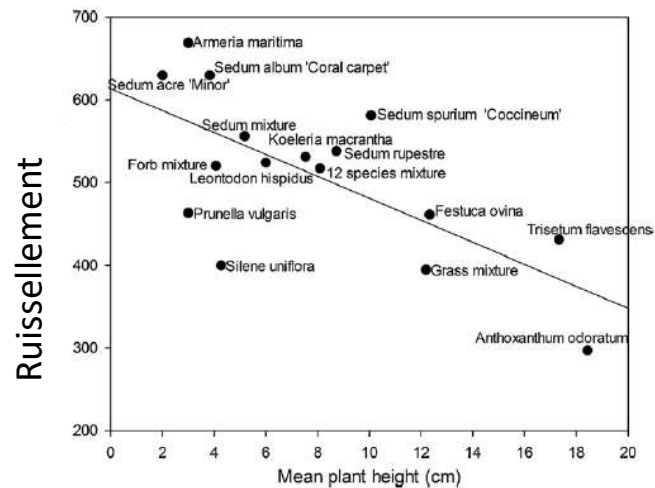
Un tapis de plantes grasses ne diminue pas le ruissellement par rapport à un sol nu

Graminées > Plantes à fleurs

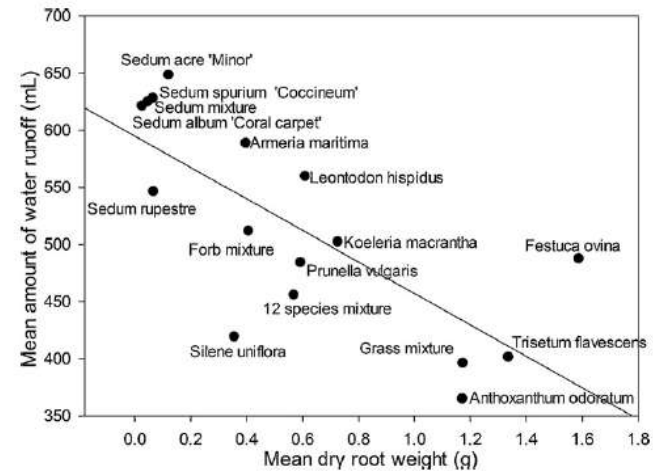
Pas de différences entre les espèces de graminées

Différences entre les plantes à fleurs

Pas d'effets clairs de la richesse en espèces



Hauteur de l'espèce



Masse du système racinaire de l'espèce

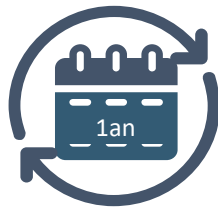
Les traits des espèces influencent le ruissellement :

Les plantes les plus petites avec les plus petits diamètres retiennent le moins d'eau

Les plantes avec les systèmes racinaires les plus développés retiennent le plus d'eau

Quels **traits** de la végétation influencent le **ruissellement** de l'eau à travers un système de toiture verte extensive en **fonction du type de substrat et des régimes de précipitations et de température ?**





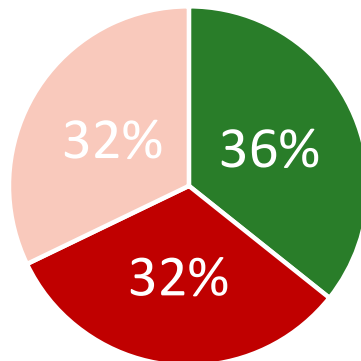
54,15%



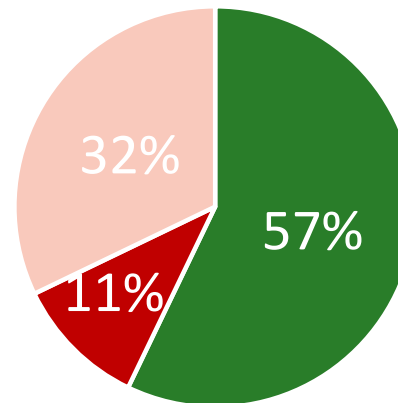
75,49±28,29%

Effet de la présence de végétation sur le ruissellement

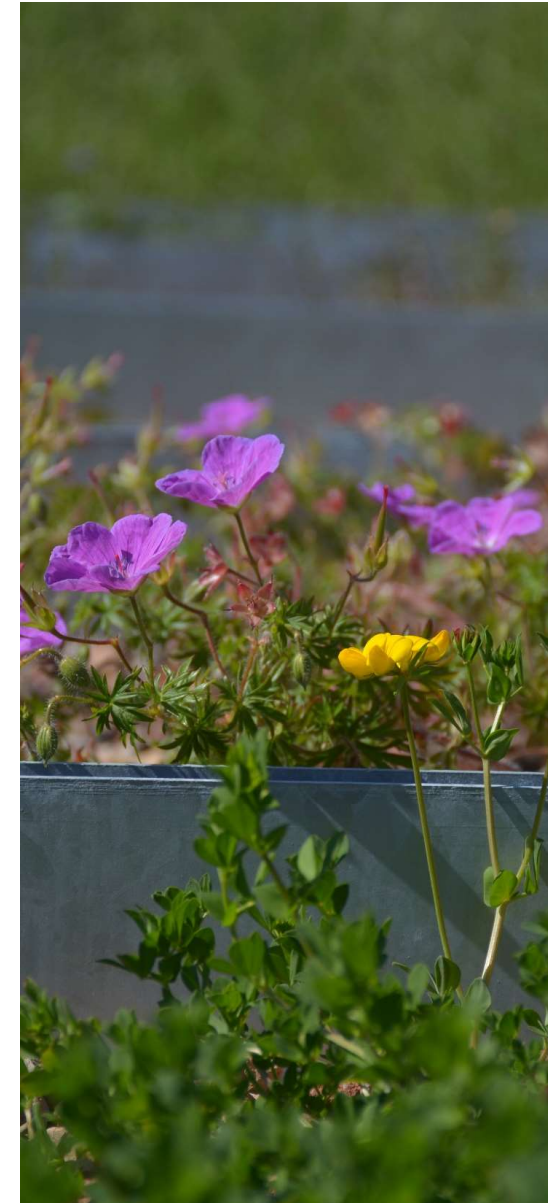
Subrat 1

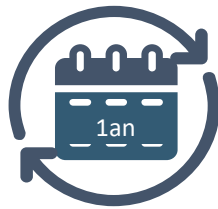


Substrat 2



■ Positive effect

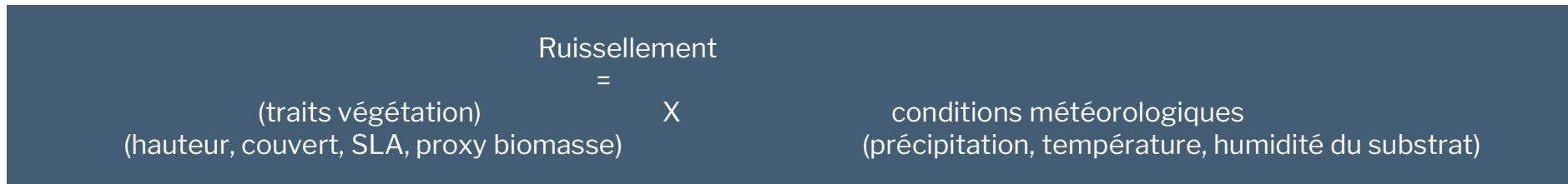




54,15%



75,49±28,29%



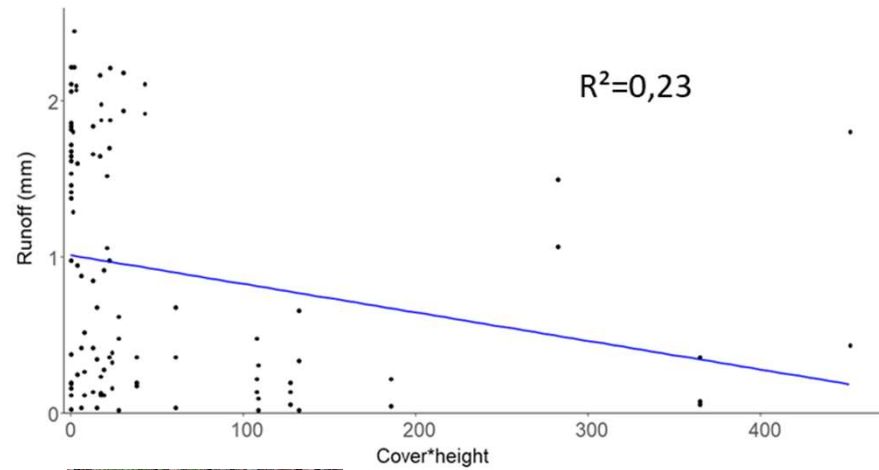
conditions météorologiques (précipitation, température, humidité du substrat)

Toute la gamme des précipitations d'une année

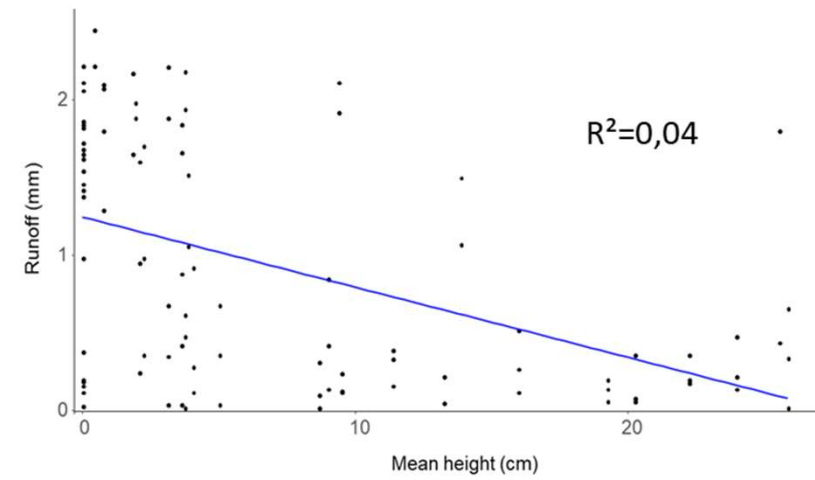
traits réalisés (hauteur, proxy biomasse)

Précipitations faibles (< 4,25mm / 3 jours)

Biomasse aérienne X 3 → -50 % de ruissellement



Hauteur X 2 → -50 % de ruissellement



Take home message

- Les caractéristiques des espèces végétales influencent la rétention en eau des toitures vertes extensives
- Hauteur et capacité à couvrir le sol sont deux traits importants
- dans certaines gammes de régime de précipitations (faible précipitation)
- => Opportunité pour maximiser l'effet des toitures végétalisées sur la rétention en eau

Take home message

- Les caractéristiques des espèces végétales influencent la rétention en eau des toitures vertes extensives
- Hauteur et capacité à couvrir le sol sont deux traits important
- dans certaines gammes de régime de précipitation
- => Opportunité pour maximiser l'effet des toitures végétalisées sur la rétention en eau

Défis : trouver les espèces

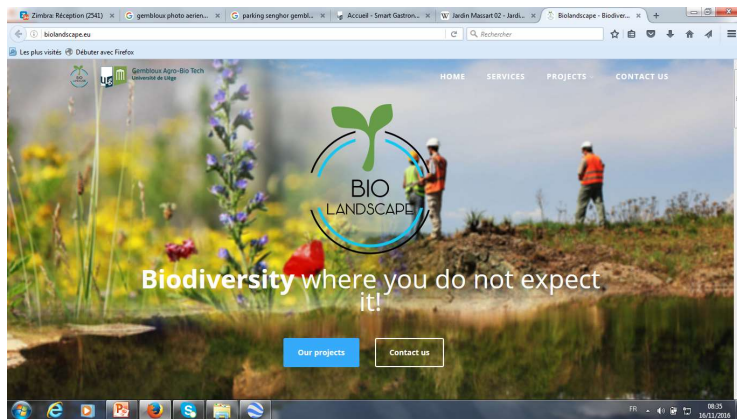


Inspiré par des écosystèmes naturels régionaux

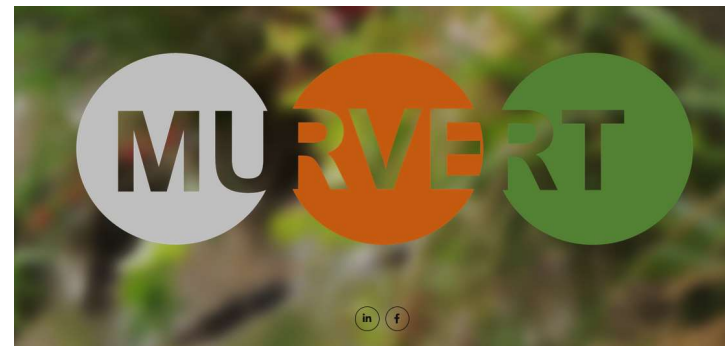


Utilisation de plantes indigènes

Régulation eau
+
Service de pollinisation
Soutien biodiversité
Résilience
Climat – énergie ?



<http://biolandscape.eu>



CONNECTEZ LA VILLE À LA NATURE

<http://murved.be>



<https://vivas.city/>