



LA PLATEFORME COLLABORATIVE DE LA SPHÈRE PUBLIQUE

EXPLORATION DES PHÉNOMÈNES D'ÉVAPOTRANSPIRATION

Comportement des jardins de pluie

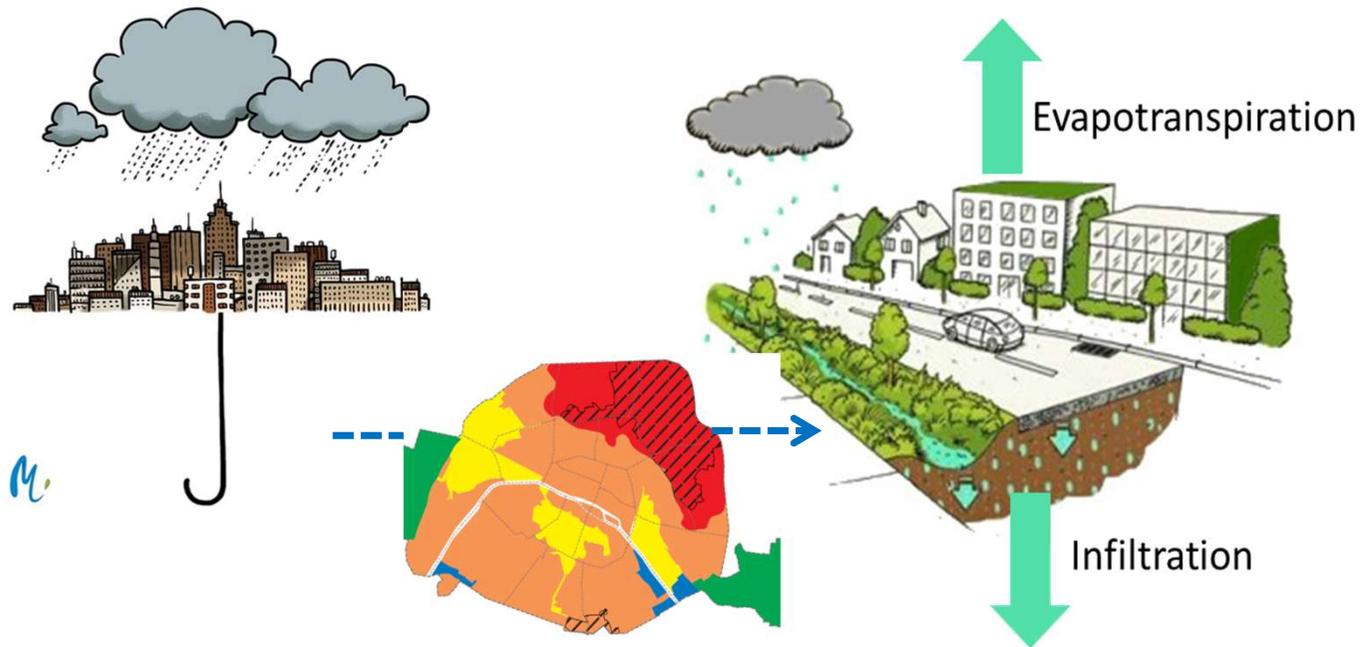
21 janvier 2020

Mis à jour le 20/03/2020 11:26:59



RENOUER AVEC LE CYCLE NATUREL DE L'EAU

- En visant essentiellement les pluies courantes (4 à 16 mm) soit 80% des pluies



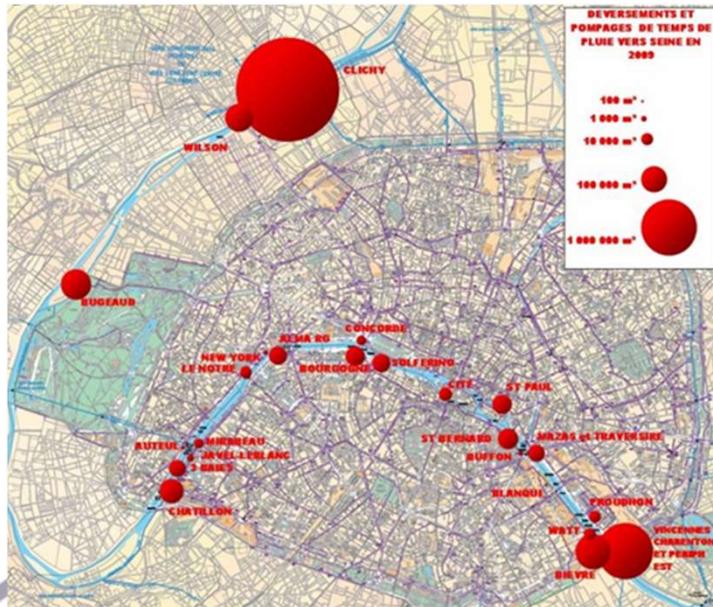
Source : Méli Mélo - Graie

CONTEXTE DES PLUIES EN ZONE URBAINE TRÈS DENSE COMME PARIS

- L'imperméabilisation des sols et le « Tout tuyau » provoque inéxorablement

Des pollutions du milieu naturel (Seine)

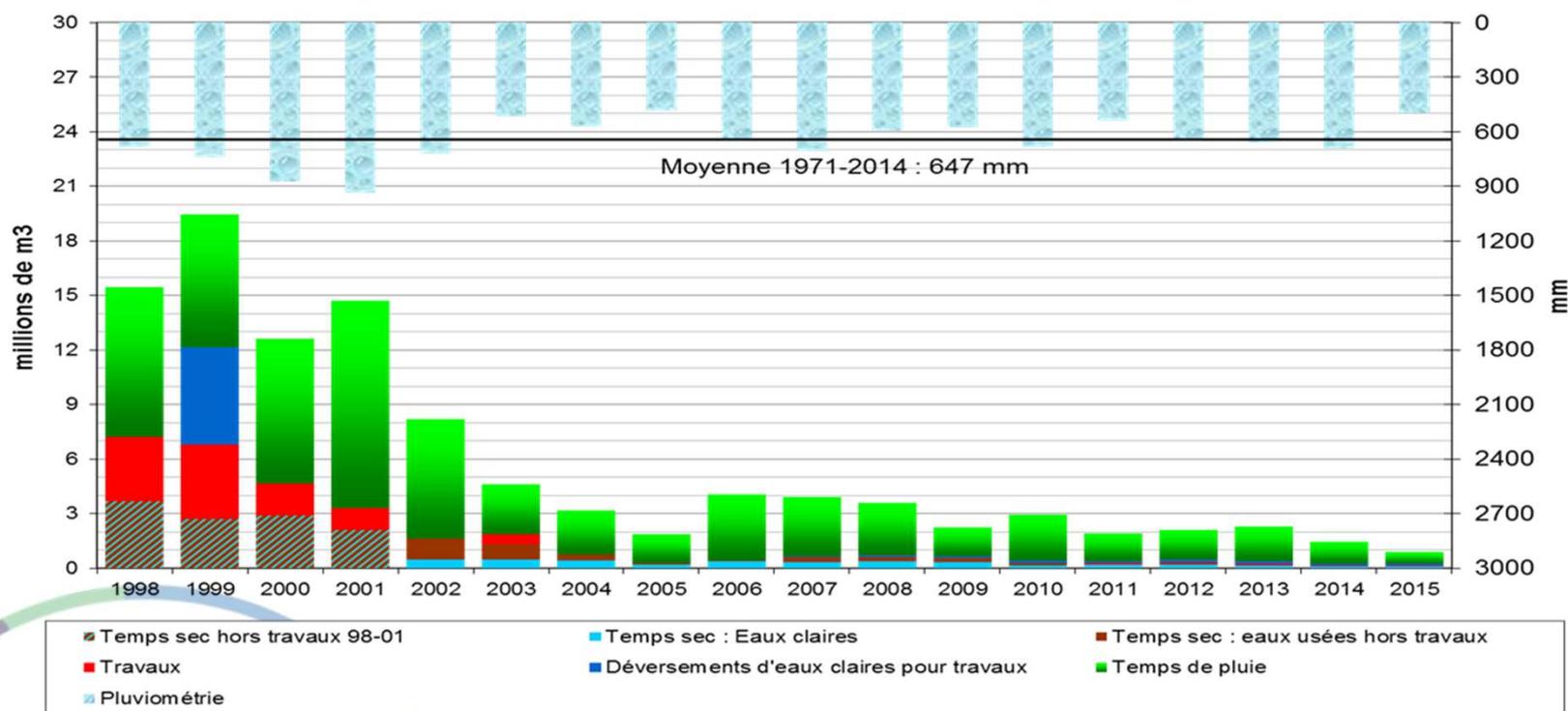
& parfois jusqu'à des débordements /et des inondations



INVERSER LE SCENARIO TENDANCIEL

- En 20 ans, 85% de l'objectif du zéro rejet en Seine atteints
- Les 15% restants représentent un défi sanitaire et environnemental

Déversements du réseau unitaire et pluviométrie



PRINCIPE DU PLAN PARISPLUIE : ABATTRE LES PREMIERS MM

- Un principe construit sur la connaissance du sous-sol & les caractéristiques du réseau d'assainissement : 100% des 4, 8, 12 ou 16 mm selon la zone ou 30%, 55%, 80% de la pluie 16mm

www.paris.fr/parispluie

Zone Sensible
12 L/m²/24h (80% 16mm)

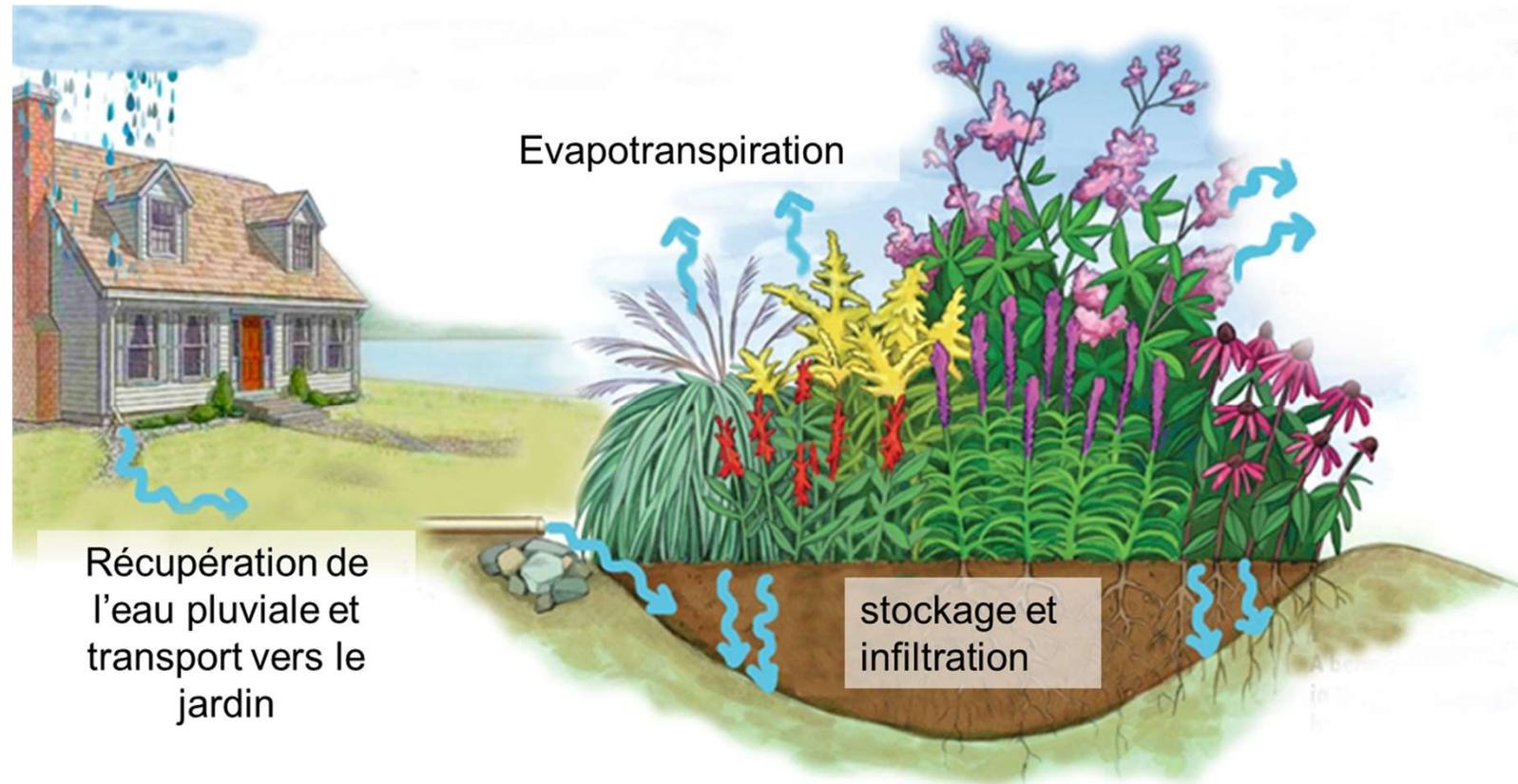
Zone de gypse très sensible
4 L/m²/24h (30% 16mm)
concentration sous strictes conditions

Remblais de mauvaise qualité
8 L/m² /24h (55%16mm)

Réseau séparatif : Pluviales non gérées évacuées en Seine sous conditions maîtrisées

UNE ? QUI REVIENT : IMPACT SUR LE SOUS-SOL ?

- En particulier s'il y a concentration
- Exemple du jardin de pluie : quid de son comportement?



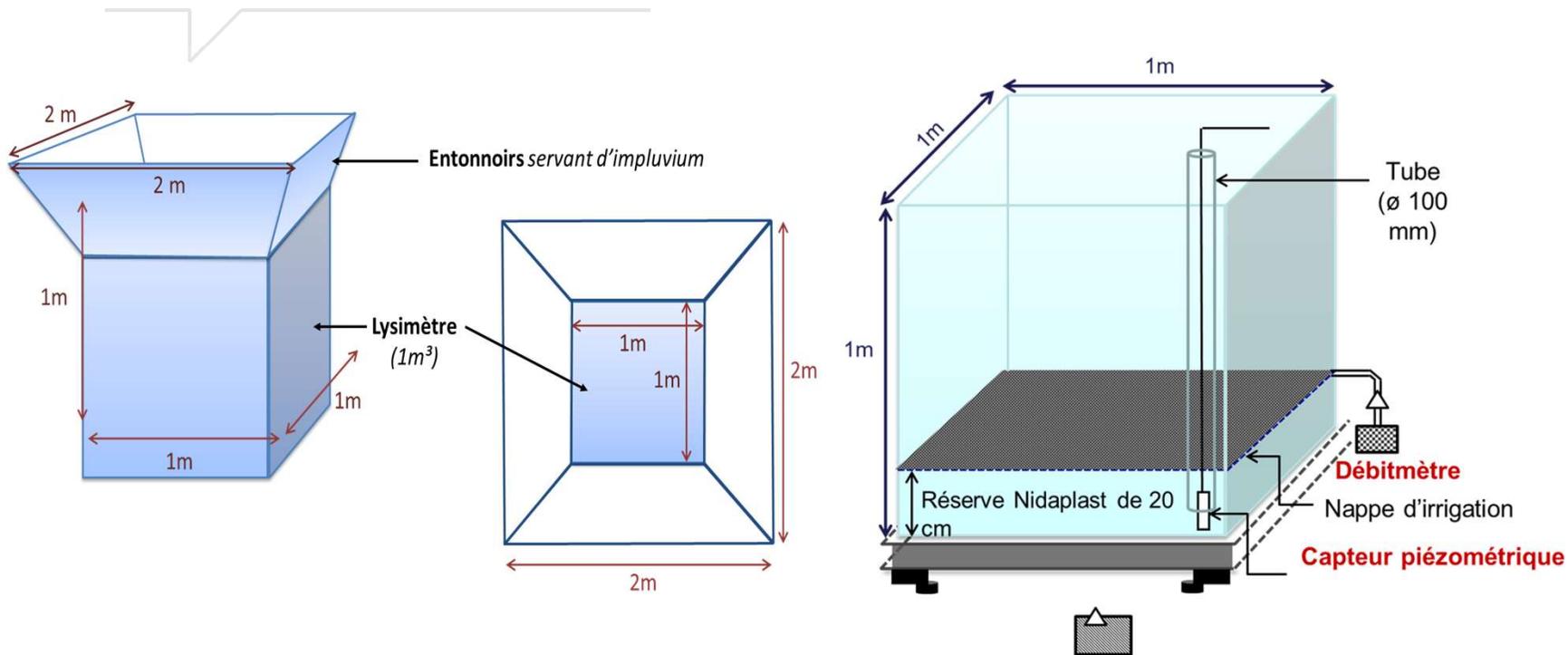
UNE PREMIÈRE ETUDE SUR LYSIMÈTRES 2017-2019



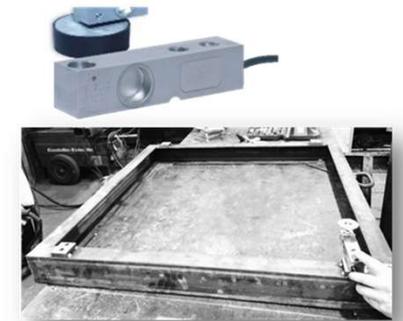
🌐 Bibliographie

- sur le milieu forestier) : de 40% à 95% des eaux de pluie s'évacuent par évapotranspiration, moins de 25% s'infiltrent, le reste ruisselle ou est stocké dans le substrat
- 2 études (A. Hess) sur jardins de pluie

CONCEPTION ET INSTRUMENTATION



4 pesons fixés au châssis



1 millimètre de pluie qui tombe sur le lysimètre = +1 litre = +1 kg



8 LYSIMÈTRES ET 2 VARIABLES

3 ESPECES VÉGÉTALES

Capables de supporter de grandes variations hydriques ;

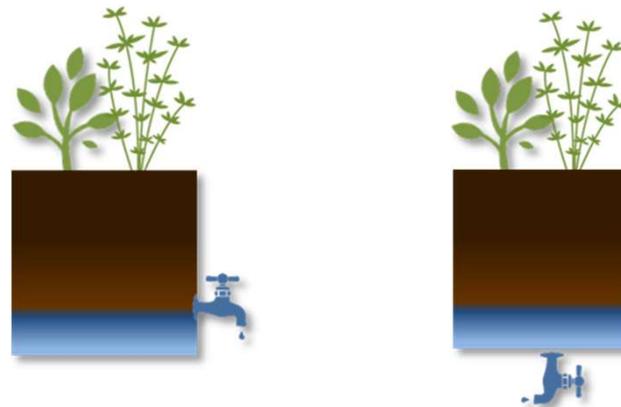
Adaptées aux substrats utilisés dans les espaces verts parisiens ;

Adaptées à la taille des lysimètres ;

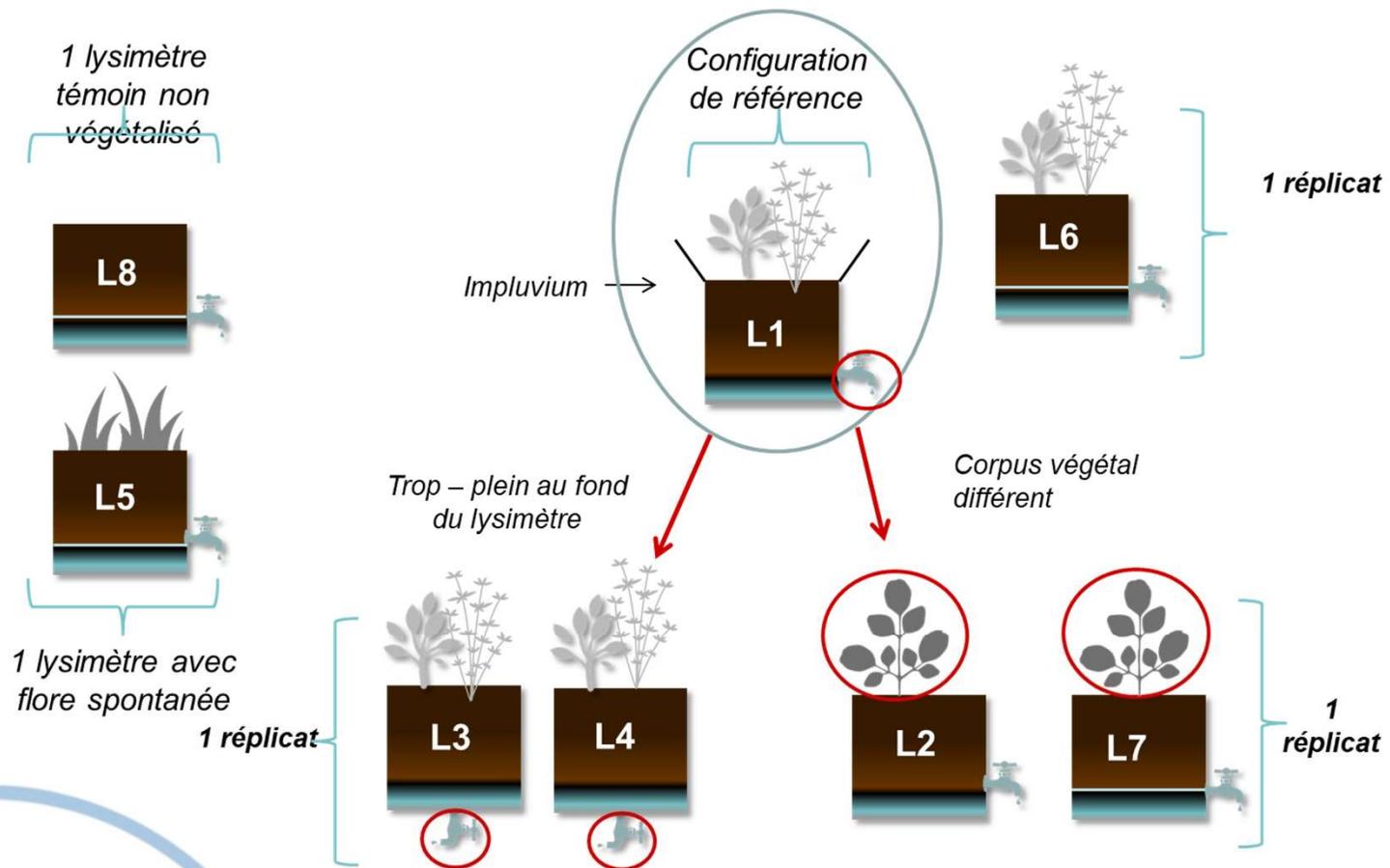
Deux herbacées indigènes d'Ile-de-France,
un arbuste exotique, flore spontanée
(observations et identification)



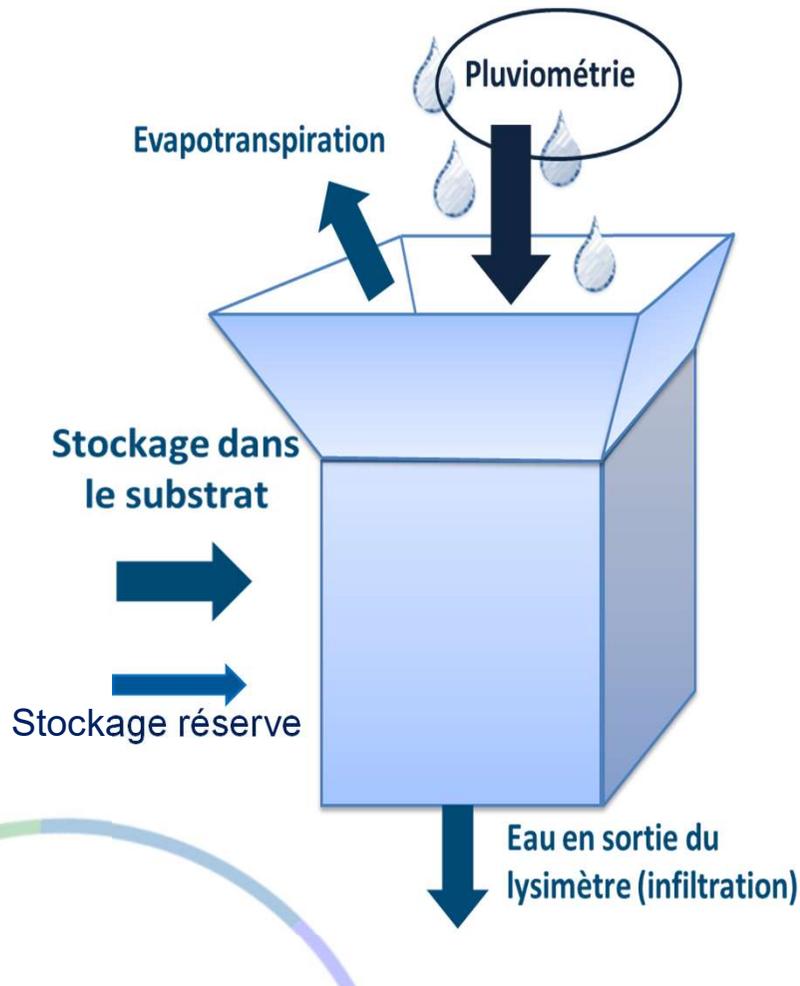
2 CONFIGURATIONS DE DRAINAGE



CONFIGURATION ET PROTOCOLE



PRINCIPE DES BILANS HYDROLOGIQUES RÉALISÉS



Pour chaque évènement pluvial :

Volume évapotranspiré

=

Pluviométrie x 4

-

Volume d'eau stockée dans le substrat

(= $V0^ + \Sigma pesons - Volume stocké réserve$)*

-

Volume d'eau en sortie TRP

* $V0$: volume initial de référence choisi arbitrairement pour n'avoir aucune donnée négative

ÉVT ANNUELLE PRÉDOMINANTE SUR LES LYSIMÈTRES À TROP-PLEIN RÉSERVE

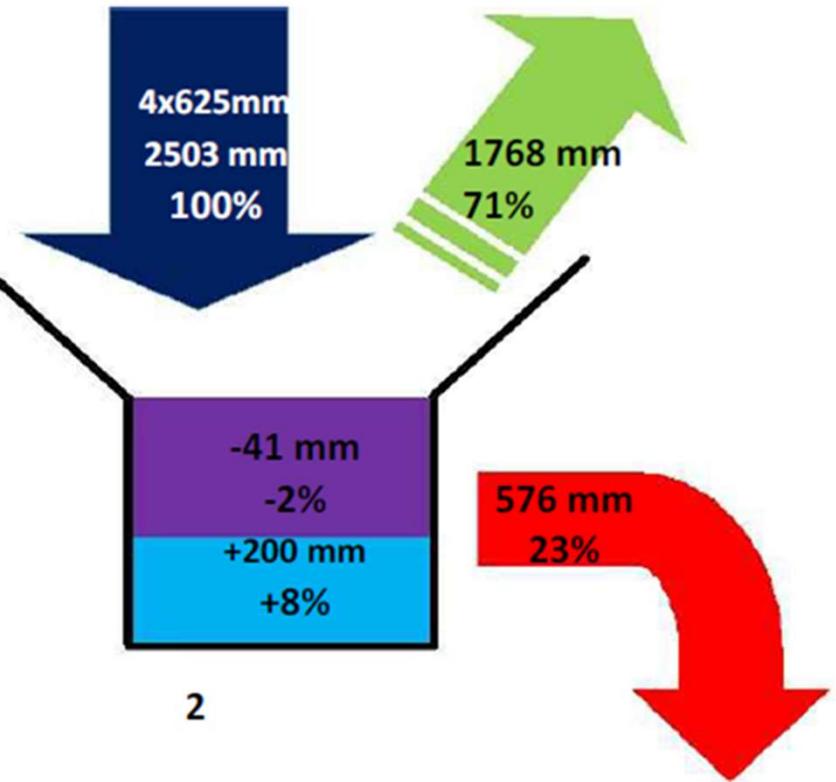
Vol.L \ %	L1		L2		L3 (drainé)		L4 (drainé)		L5		L6		L7		L8	
A1	1308	52	1768	71	842	34	952	38	1135	45	1564	62	1283	51	1356	54
A2	1896	76	1720	69	706	28	609	24	1624	65	1642	65	1880	75	1469	59

Bilan hydrologique de chaque lysimètre en volume

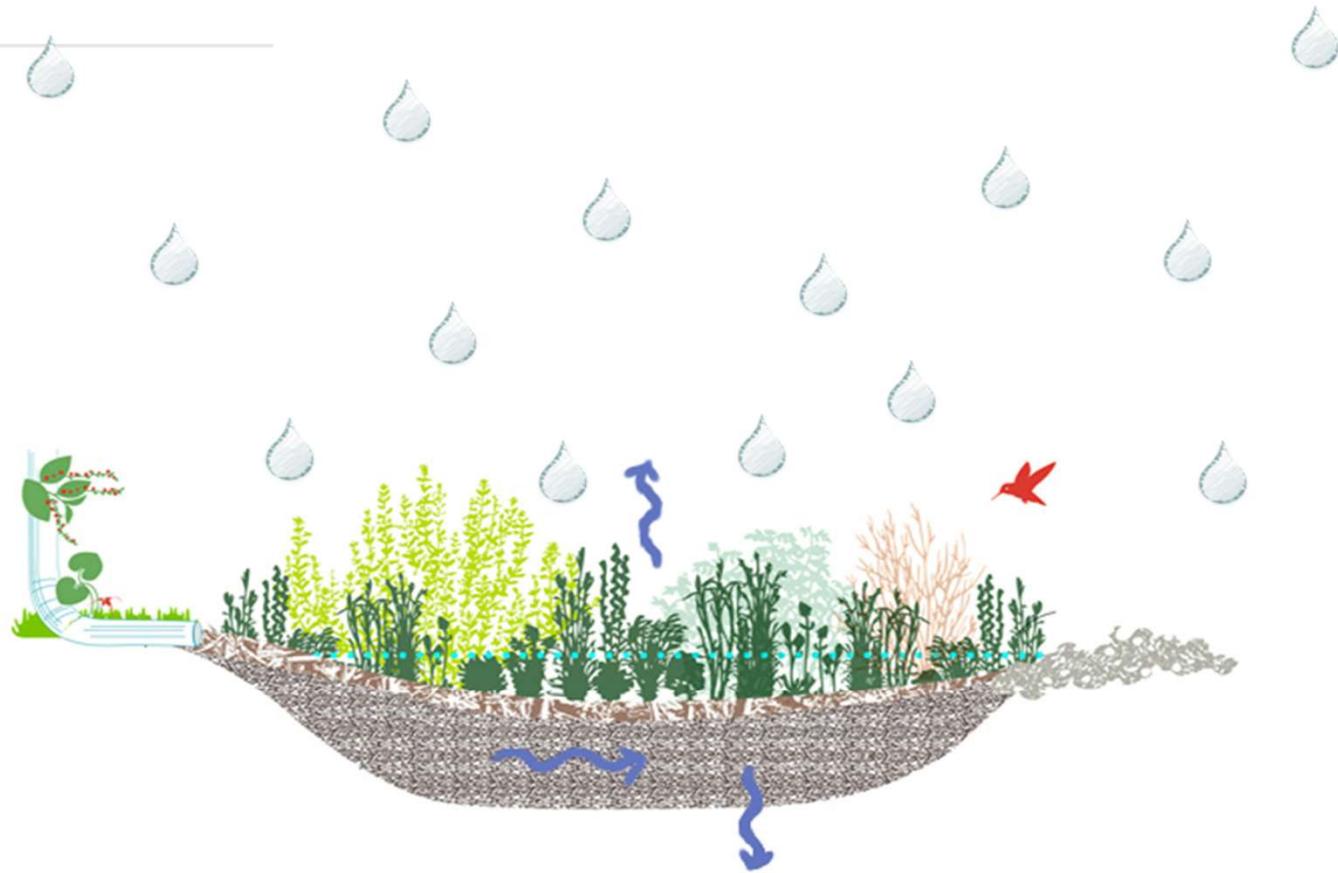


EX. DU BILAN ANNUEL A1 DU L2

- Evapotranspiration mesurée dès la 1ère année bien supérieure à la théorie (jq à facteur 6) en particulier l'hiver là où le meilleur ensoleillement
- En règle générale, la hauteur évapotranspirée est > à la pluie incidente



CONNAISSANCES A POUSSER SUR DES JARDINS DE PLUIES PILOTES



POURQUOI DES JARDINS DE PLUIE?

- Consolider les résultats obtenus grâce aux lysimètres du MNHN
- Acquérir en continu des mesures permettant d'obtenir à un pas de temps fin le bilan hydrologique de chaque jardin et en particulier les flux d'infiltration et d'évapotranspiration.
 - Proposer des dispositifs de gestion des EP adaptés même dans des zones à fortes contraintes en sous-sol
 - Améliorer la connaissance du comportement des végétaux au regard d'un apport d'eau par concentration

PARTENAIRES



DPE
Financement
Suivi des travaux
Coordination



DEVE
Élaboration et suivi de la palette végétale
Choix et analyses du substrat
Protocole d'entretien



Cerema

ÉCOLE DU BREUIL
Arts & Techniques du paysage

Accueil des dispositifs sur son domaine
Entretien des jardins
Transformer l'expérimentation en outil pédagogique

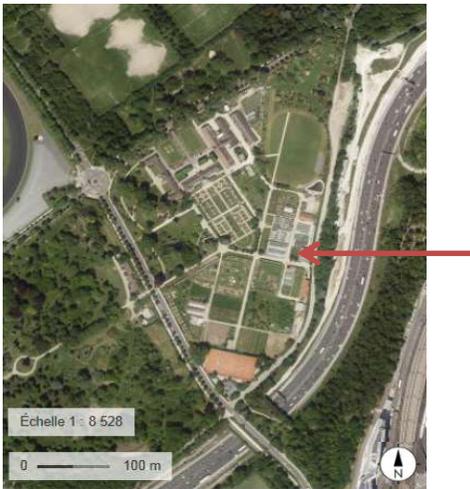


Subvention du projet à hauteur de 50%
Volet Études du 11^{ème} programme de l'Agence



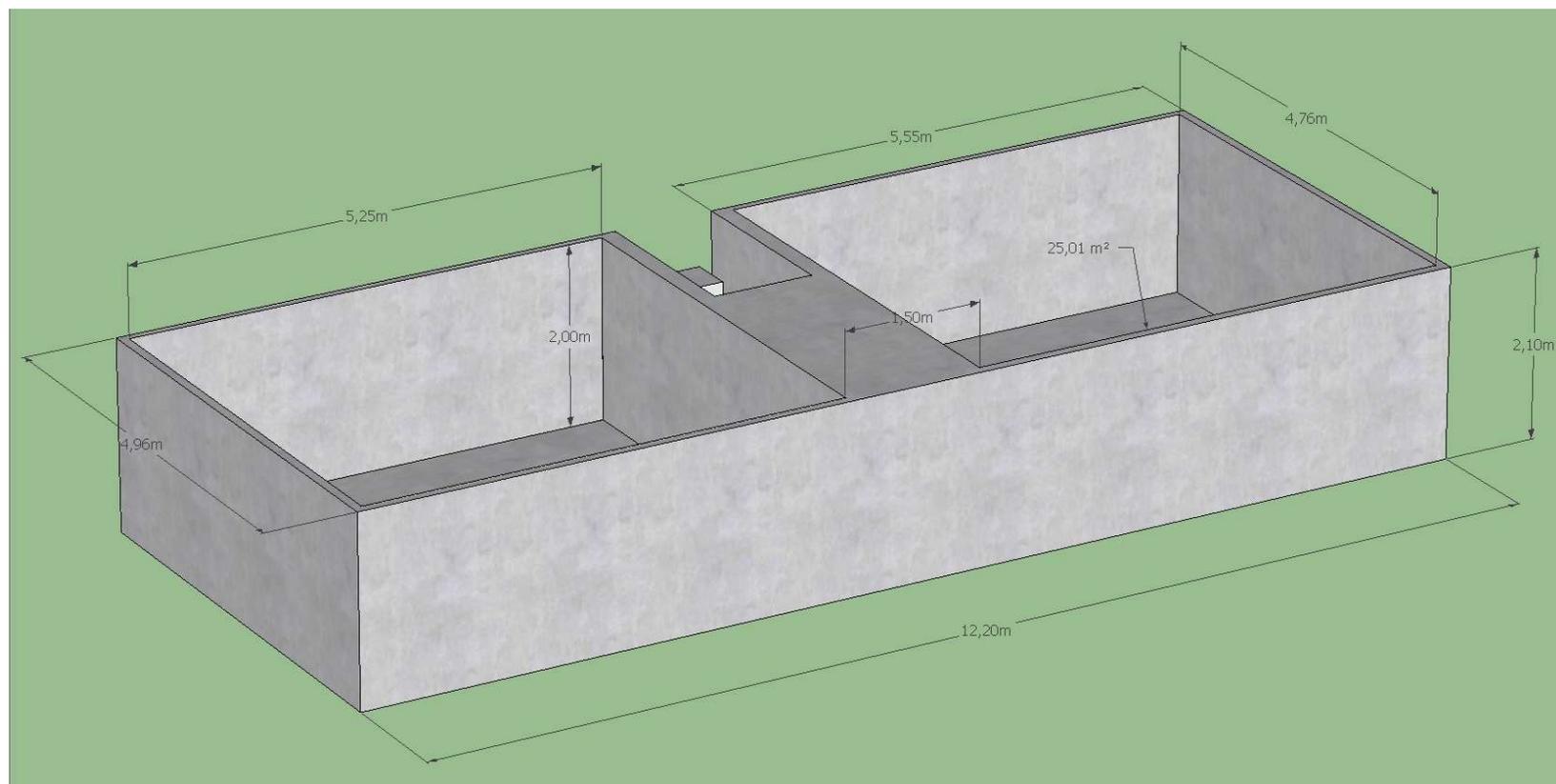
SITE D'IMPLANTATION

Bois de Vincennes - École du Breuil



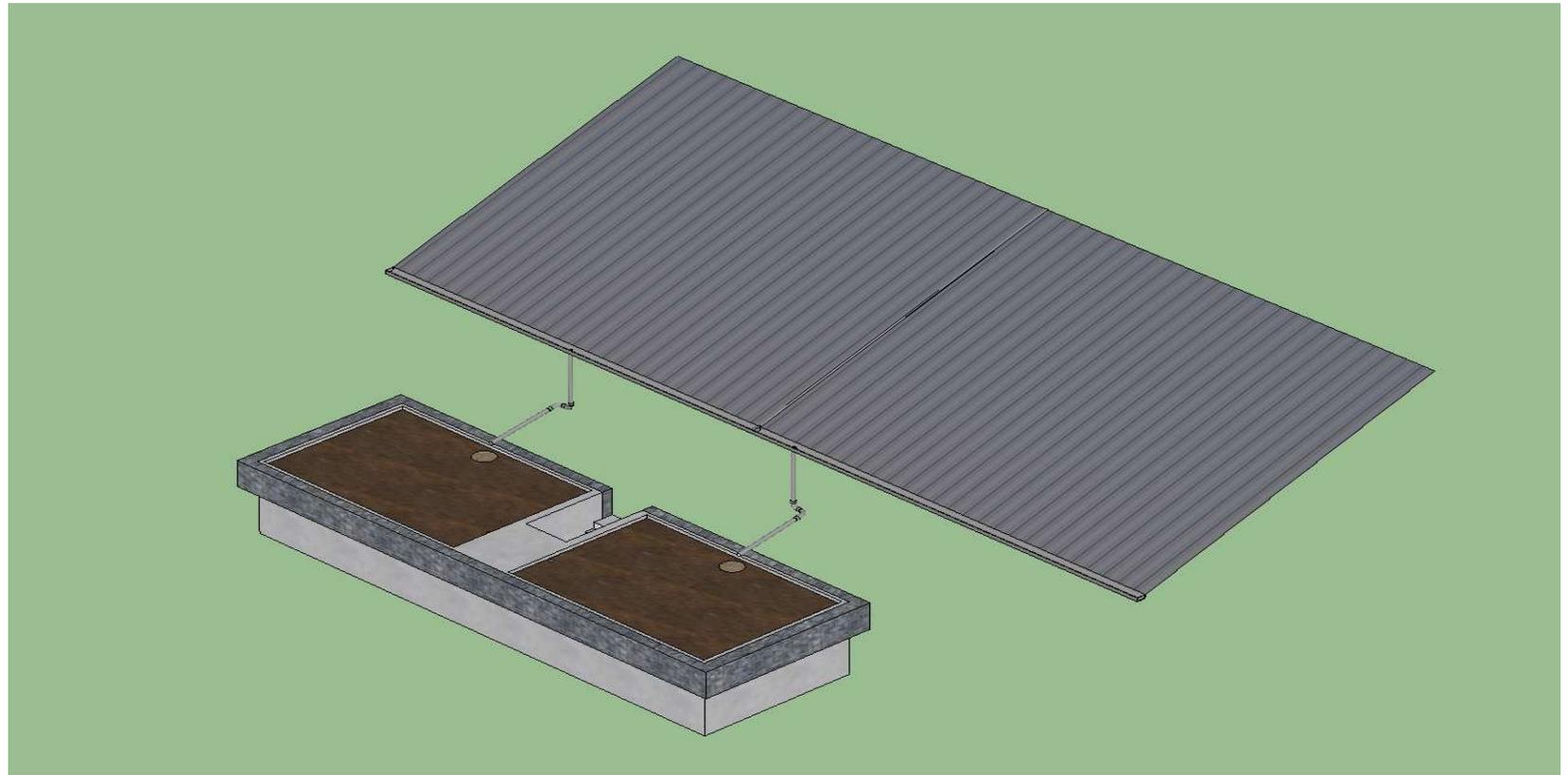
CONSTRUCTION - ÉTAPE 1

- 5,25m x 4,75m x 2m
- 1 jardin = 25m²
- Hors-sol = 0,80m
- Habillage extérieur par cage à gabion



CONSTRUCTION - ÉTAPE 2

- 150m² de toiture
- Surface de collecte = 4 x 25m²
- Pluviométrie parisienne 650mm/an
- 65m³ collectés par an et par jardin



CONSTRUCTION - ÉTAPE 3

- 50cm de réserve en grave
- Réserve **drainée** :
Estimer la part **infiltrée**
- réserve **non drainée** :
Estimer la part **évapo-transpirée**



RÉSULTATS

Projection

En cours...



AVANCEMENT DU PROJET

- Construction des 3 jardins achevée
- Test d'étanchéité des 2 cuves : en cours
- Livraison de la terre – installation des capteurs : février
- Plantation : mars/avril
- Rapport d'exploitation des données 1^{ère} année : mi-2021



LA PLATEFORME COLLABORATIVE DE LA SPHÈRE PUBLIQUE

EXPLORATION DES PHÉNOMÈNES D'EVAPOTRANSPIRATION DES JARDINS DE PLUIE

Choix du substrat et de la palette végétale

21 Janvier 2020

François NOLD

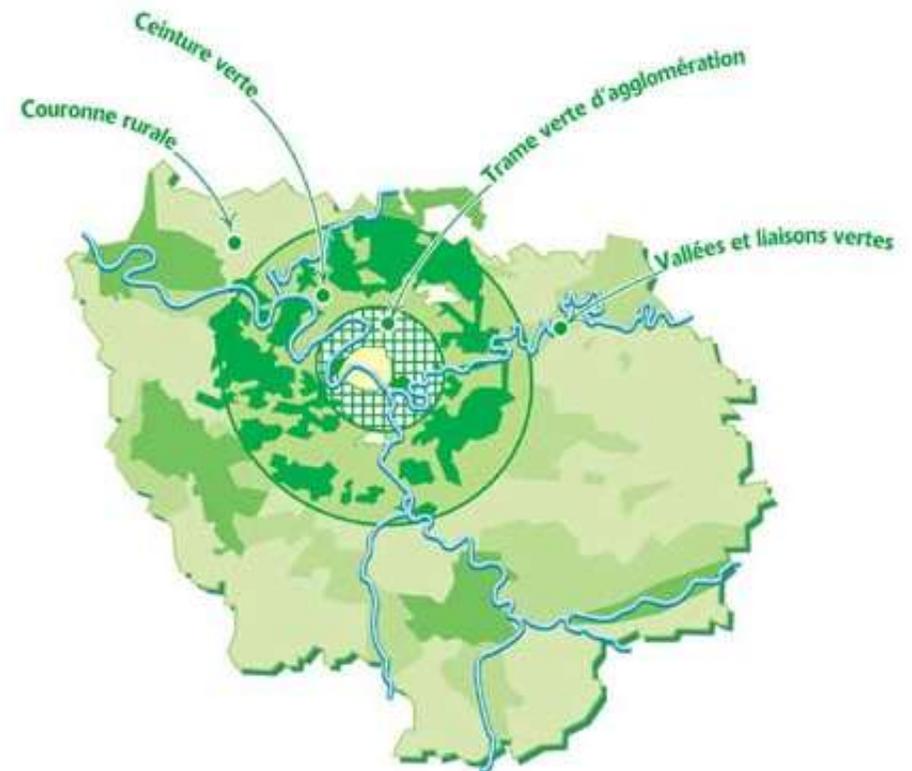
Direction des Espaces Verts et de l'Environnement

SSTVAU - Division des Expertises Sol-Végétal



CHOIX DU SUBSTRAT

- L'urbanisation continue et concentrique de l'agglomération parisienne explique l'évolution des caractéristiques des terres végétales importées.
- Avant 1950, il est probable que les terres venaient de zones très proches de Paris (petite couronne) – avec une prédominance de cultures maraîchères.
- Aujourd'hui, elles sont extraites dans la ceinture verte et au-delà (couronne rurale) – avec une prédominance de cultures agricoles.



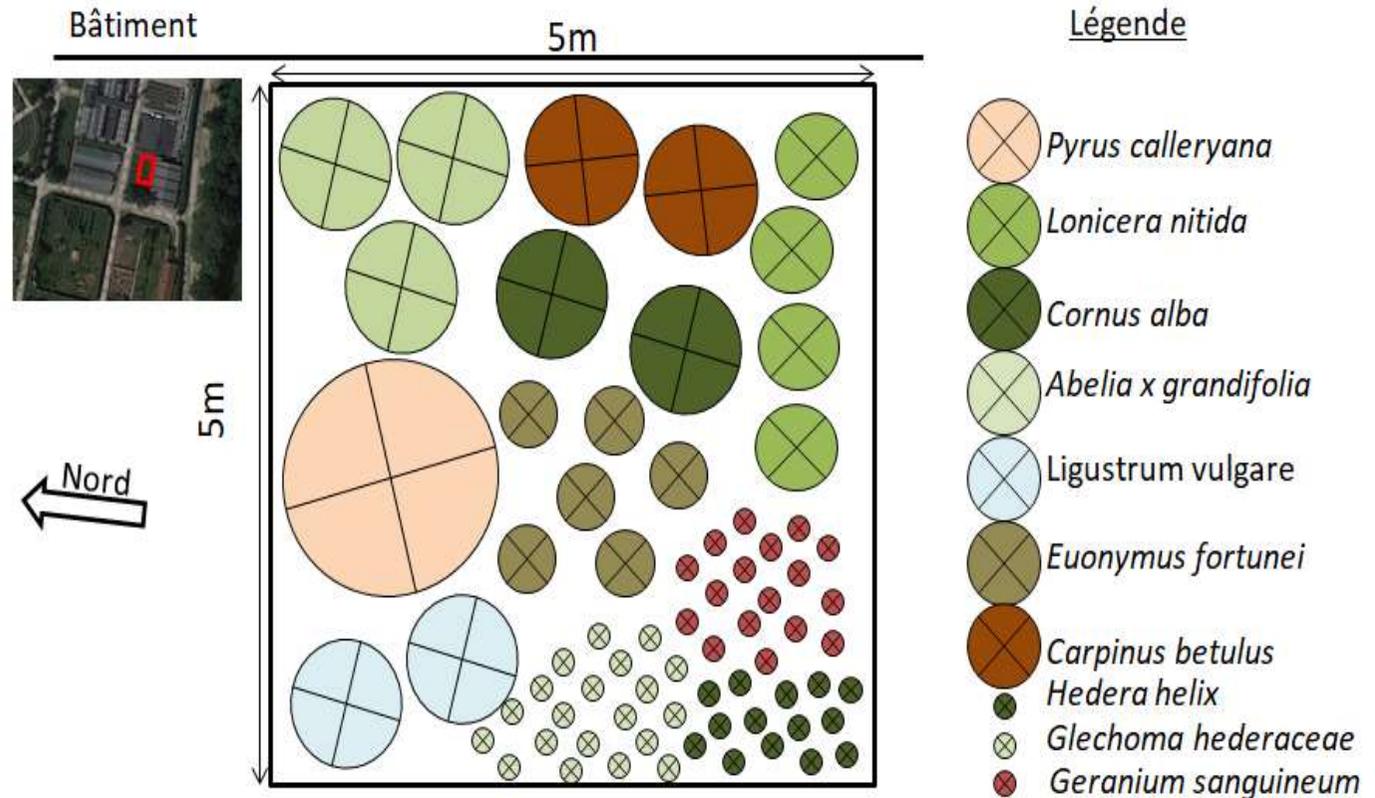
CHOIX DU SUBSTRAT

- La terre choisie pour l'expérimentation est typique de celle utilisée dans les espaces verts parisiens depuis les années 80.
- Il s'agit d'un « limon des plateaux » (sol brun lessivé), peu calcaire, avec des teneurs normales en matières organiques et en sels minéraux - dans son contexte agricole.
- Pour définir un « état zéro », des analyses physico-chimiques seront effectuées sur les livraisons. On envisage un matériau riche en limons (70 %), bien pourvu en argiles (20 %), pauvre en calcaire (< 3 %) et en matière organique (1,5 %) et avec des réserves minérales satisfaisantes.



PALETTE VEGETALE

- Des plantes capables de résister à des périodes de sécheresse et à des apports d'eau importants
- Une palette végétale et une densité de plantation typiques des jardins parisiens
- Une palette végétale et une disposition identiques dans les lysimètres et le jardin témoin de l'EDB
- Possibilité d'extrapoler les résultats aux EV de la Ville





LA PLATEFORME COLLABORATIVE DE LA SPHÈRE PUBLIQUE

Merci de votre attention

Choix du substrat et de la palette végétale

21 Janvier 2020

François NOLD

Direction des Espaces Verts et de l'Environnement

SSTVAU - Division des Expertises Sol-Végétal





LA PLATEFORME COLLABORATIVE DE LA SPHÈRE PUBLIQUE

EXPLORATION DES PHÉNOMÈNES D'EVAPOTRANSPIRATION DES JARDINS DE PLUIE

Programme d'instrumentation et de suivi des
lysimètres

21 Janvier 2020

Emmanuel BERTHIER, Rémi VAL

Equipe de recherche TEAM





- Le centre d'études et d'expertises en appui aux politiques publiques du développement durable
- Une diversité de champs thématiques et une diversité de posture
- La recherche et l'innovation sont des missions de l'établissement

Une équipe de recherche spécialisée sur l'eau en ville et ses interactions

TEAM:
Transferts et interactions liés à l'Eau en Milieu construit

enjeux:
PRÉSERVATION des RESSOURCES en EAU
↓
qualité
quantité

ADAPTATION au RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

satisfaction des EXIGENCES NATIONALES et EUROPÉENNES

réduire la vulnérabilité des villes et infrastructures

Quel est l'impact des villes et infrastructures de transport sur l'eau?

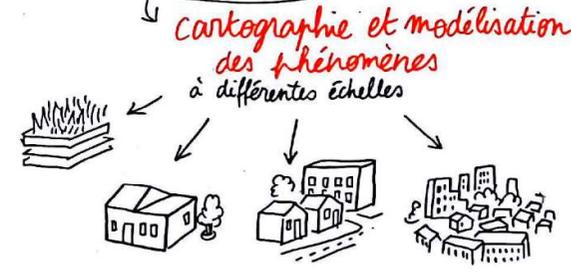


FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE des milieux construits

gestion des eaux de pluie

Axe 2 POLLUANTS
Comment limiter les flux de polluants à leur source?

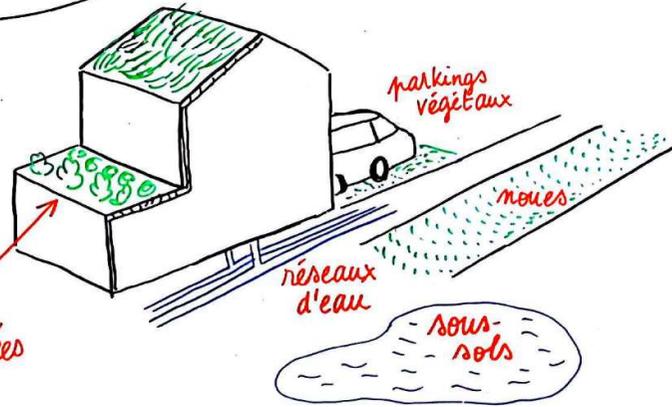
Axe 3 INTERACTIONS avec le CLIMAT URBAIN
cartographie et modélisation des phénomènes à différentes échelles



Comment retrouver un "CYCLE NATUREL" DE L'EAU, même EN MILIEU CONSTRUIT?

des "baignoires" pour stocker l'eau en hiver et la laisser s'évaporer en été pour refroidir l'air?

toitures végétalisées



îlot de chaleur potentiel = vulnérabilité du bâti

assistance à la planification



Rôle du Cerema

● Un partenaire du projet, apporte ses compétences scientifiques et techniques

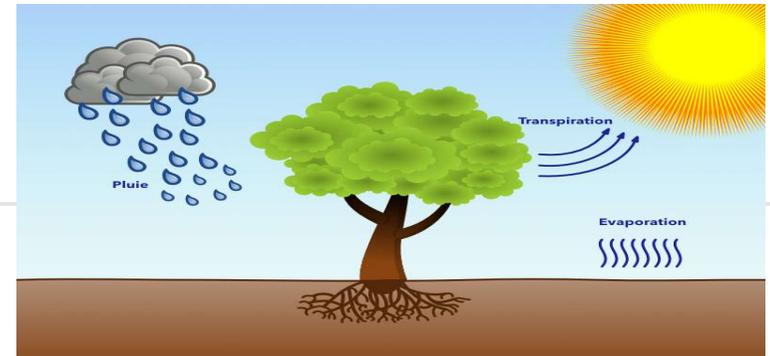
1) Un appui pour définir le plan d'expérience

2) Validation et exploitation des données

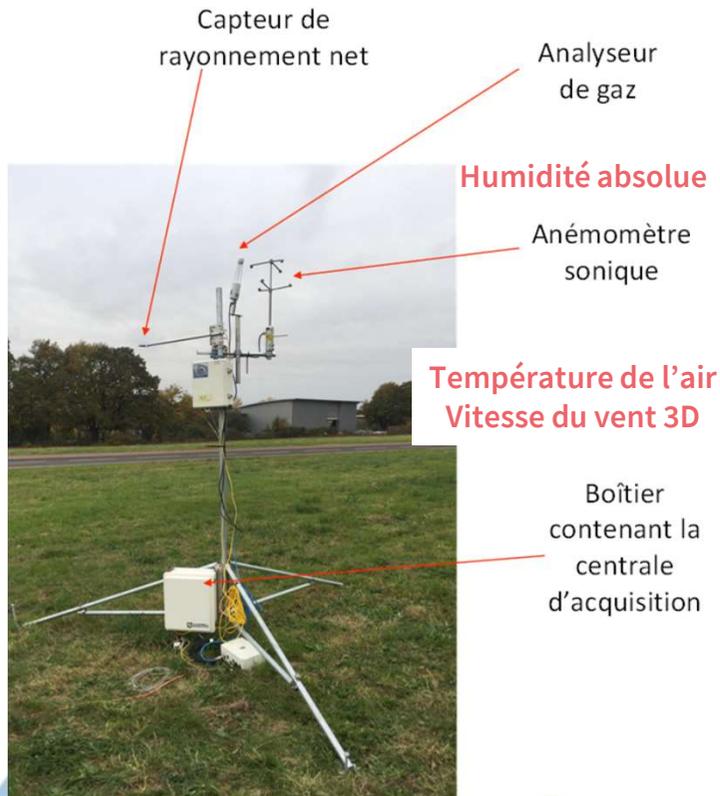


L'évapotranspiration: un flux méconnu en milieu urbain

Des difficultés de mesure, ...



<https://www.poolse.id/arroage/un-peu-de-theorie-pour-mieux-comprendre-l-arroage/>



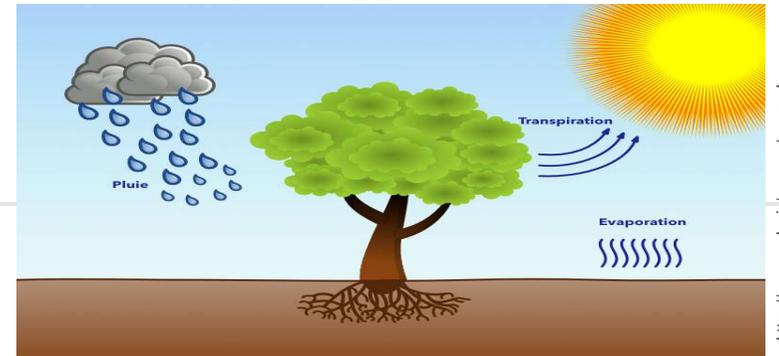
Micro-turbulence dans atmosphère (Eddy Covariance)

Augmentation humidité dans une chambre



L'évapotranspiration: un flux méconnu en milieu urbain

... et donc d'estimation.



<https://www.poolse.id/arroage/un-peu-de-theorie-pour-mieux-comprendre-l-arroage/>

- pourtant un besoin croissant pour i) concevoir des ouvrages de gestion à la source des eaux pluviales et ii) bien comprendre le rafraîchissement potentiel
- les formules et modèles utilisés ne sont pas adaptés au milieu urbain

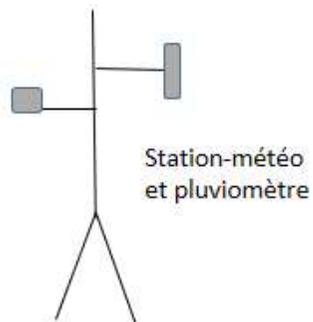
Quelle formule d'évapotranspiration potentielle, avec quels paramètres et quelles données météorologiques ?

Comment tenir compte du stress hydrique ?

Objectifs du suivi :

+ instrumenter les jardins de pluie afin d'estimer le flux d'évapotranspiration, en continu et sur une longue durée

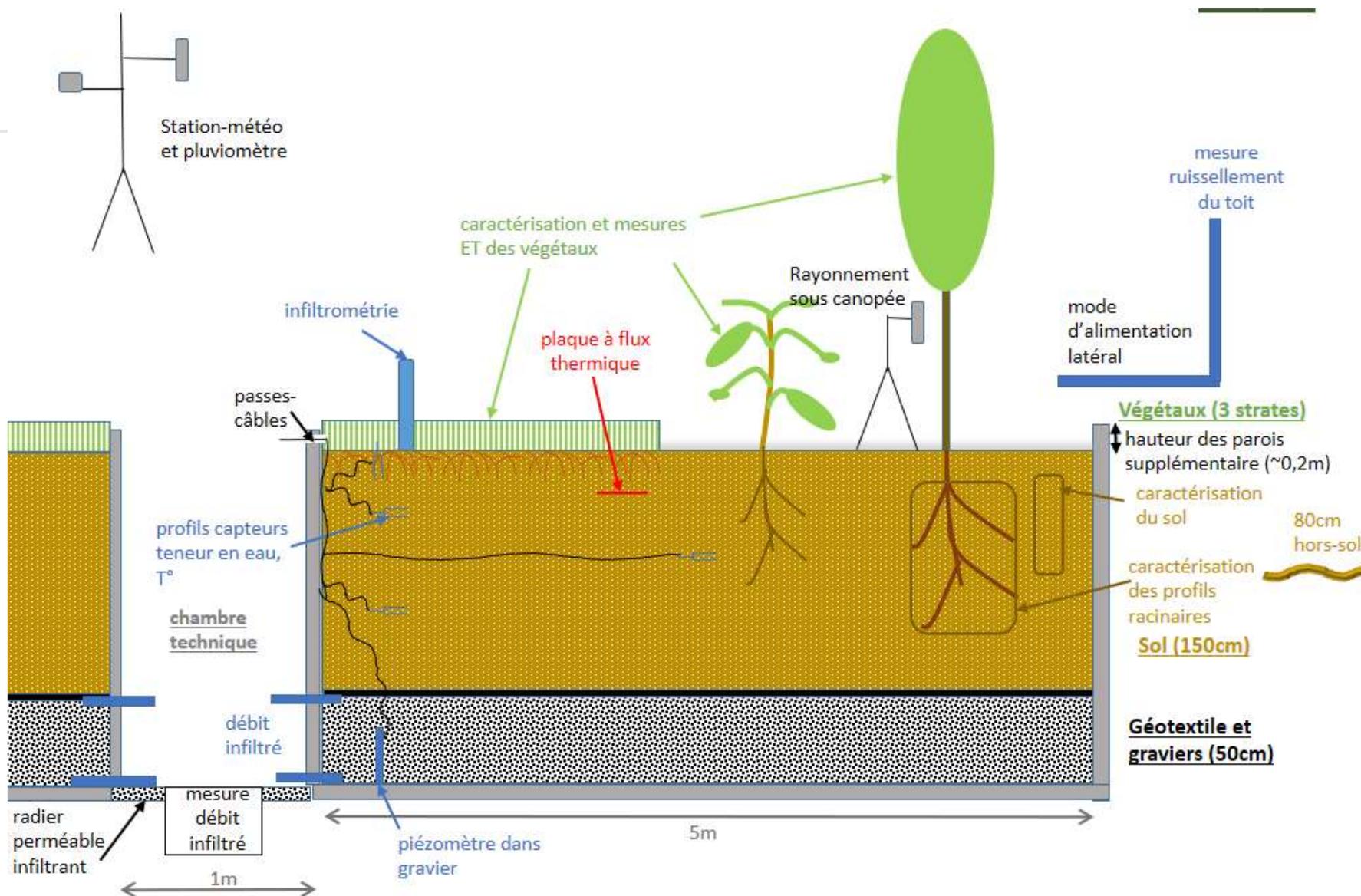
Le suivi prévu



Organisation:

- un BET spécialisé instrumente et collecte les données (SEMERU)

- le Cerema appuie l'instrumentation et interprète les données (sur 3ans, ~55 capteurs)

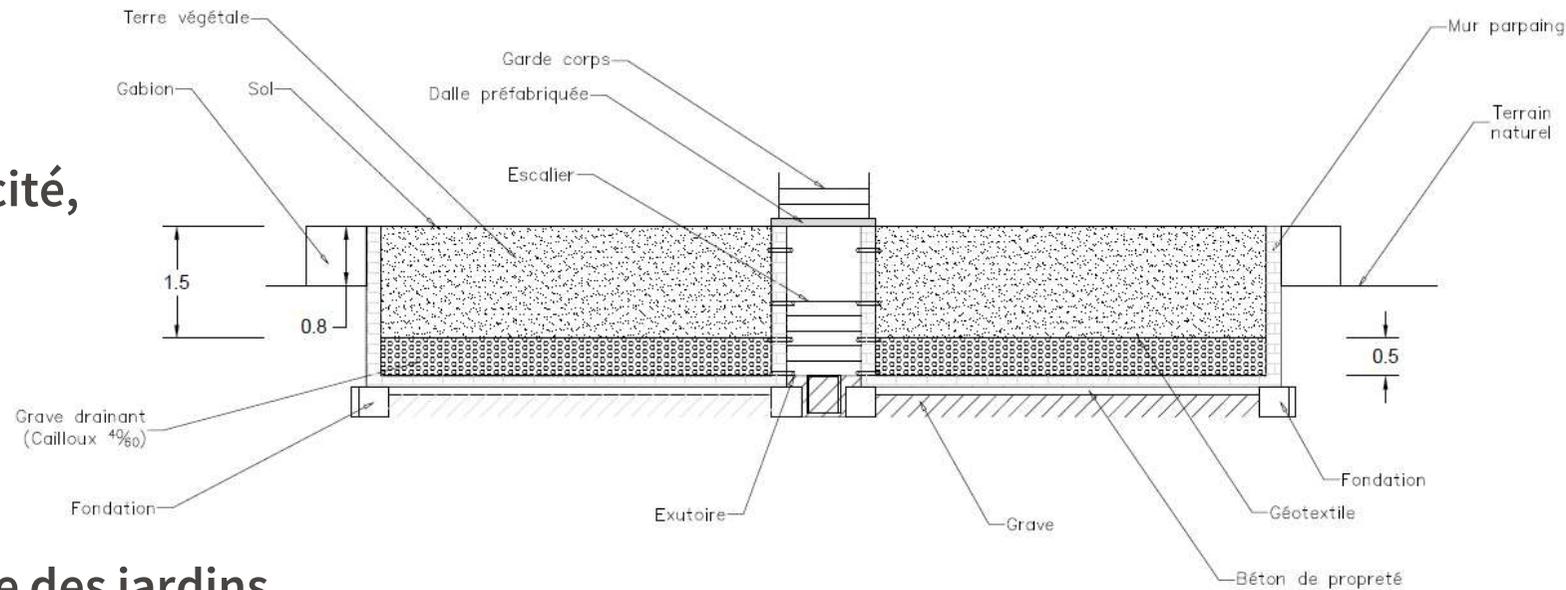


Le suivi prévu: conception et conditions météorologiques

- Conception:
 - chambre technique, électricité,
 - passerelle,
 - sur-hauteur des murs
 - tassement prévu
 - éloignement du toit
 - alimentation diffuse latérale des jardins

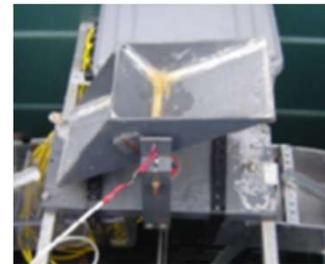
- Météorologie:

- T°, Humidité, Direction et Vitesse du vent, Rayonnement: solaire et infra-rouge, incident et réfléchi (les 4 composantes doivent être distinctes)
- Rayonnement dans la canopée de chaque jardin (les 4 composantes)
- Pluviomètre: 0,1mm par auget



Le suivi prévu: débits de ruissellement et d'infiltration

- Ruissellement: combinaison d'un auget basculeur (1L pour les faibles débits) avec un débitmètre électromagnétique (pour les forts débits) (dispositif élaboré par Précis Mécanique)



Auget basculeur (1L)

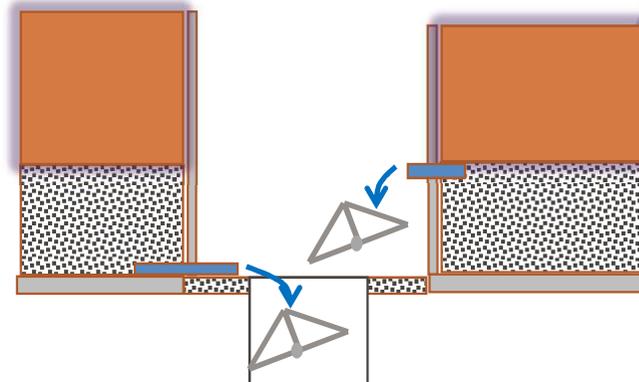
Débitmètre électromagnétique

Ruissellements toits

Gouttière pour alimentation latérale

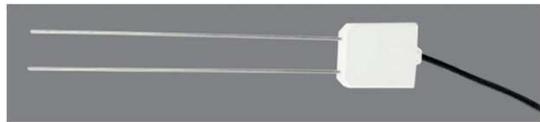


- Infiltration: un auget basculeur (1L)



Le suivi prévu: teneurs en eau du sol et du gravier

- 3 profils verticaux de capteurs en s'éloignant de l'alimentation en eau
- Plus de mesures proches de la surface

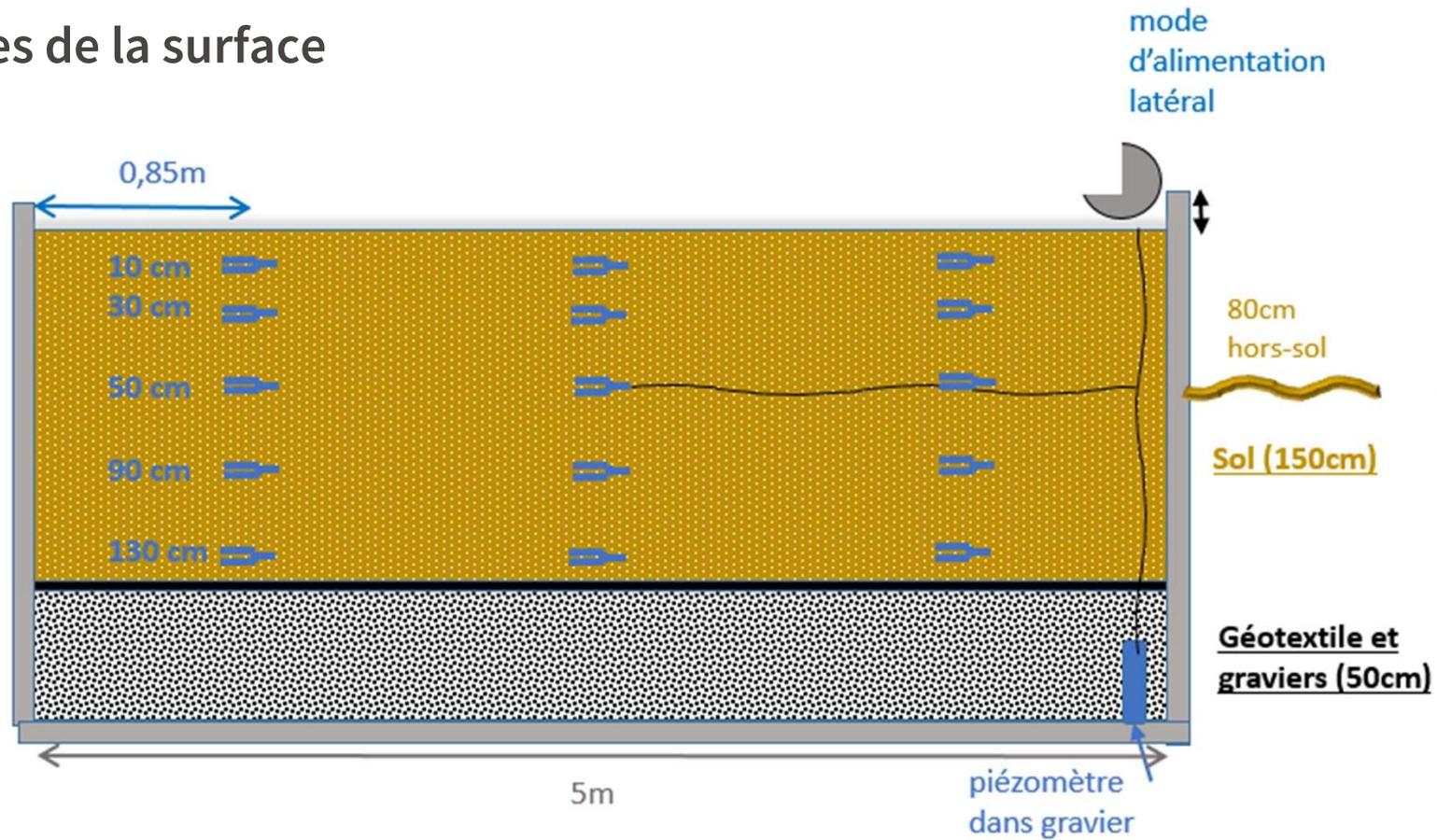


cs 650 vs de Campbell

Teneur en eau par conductivité électrique
T°

2 broches de 30cm

cylindre de mesure de Ø15cm



Le suivi prévu: mesures ponctuelles complémentaires

• Pour comprendre et expliquer les bilans estimés :

- dans le sol: analyses physico-chimiques, caractérisation des intrants, plaque à flux thermique

- sur l'eau: analyses physico-chimiques des débits infiltrés, test d'infiltrométrie

- sur les végétaux: profils racinaires (en début et fin d'expérimentation), surface des feuilles (photos lors des entretiens et tailles, mesure par application sur téléphone)

Le suivi prévu: estimation de l'évapotranspiration (ET)

- Pas de mesures directes

- Estimation comme résidu du bilan hydrique:

$$\Delta\text{Stock eau sol} + \Delta\text{Stock eau gravier} = \text{Pluie} + \text{Ruissellement} - \text{Infiltration} - \text{ET}$$

- $\Delta\text{Stock eau sol}$ estimé à partir des capteurs de teneur en eau:

!!! imprécisions de mesure et interpolations spatiales de mesures ponctuelles

→ estimations de l'ET précises à l'échelle de l'année, de la saison

→ des incertitudes attendues à l'échelle du mois, du jour

C'est parti pour 3 ans



- Les premières données sont attendues au printemps:
 - Calculs de bilans sur chaque lysimètre, à différentes échelles de temps
 - Analyse pour comprendre ces bilans
- En perspectives:
 - Développer le suivi des végétaux et la mesure de l'évapotranspiration: indice foliaire, résistance stomatique, flux de sève,
 - En parallèle un projet sur la modélisation: pour extrapoler à d'autres conceptions, d'autres sols, d'autres climats, ...



LA PLATEFORME COLLABORATIVE DE LA SPHÈRE PUBLIQUE

EXPLORATION DES PHÉNOMÈNES D'EVAPOTRANSPIRATION DES JARDINS DE PLUIE

Programme d'instrumentation et de suivi des
lysimètres

21 Janvier 2020

Emmanuel BERTHIER, emmanuel.berthier@cerema.fr

Rémi VAL, remi.val@cerema

Equipe de recherche TEAM

