

Webinaire

Considération de la qualité
des sols urbains pour réduire
les risques naturels liés
à l'eau (inondations
et sécheresses)

Quentin Vincent | Docteur en écologie des sols

Webinaire « Solutions fondées sur la Nature »
Organisé par FNE | 14/12/2021



SAS Sol &co

2 avenue de la Forêt de Haye
54505 Vandœuvre-lès-Nancy cedex
contact@sol-et-co.com

Sommaire:

- 1. Les sols et leurs propriétés : focus sur les services « infiltration de l'eau » et « rétention en eau »**
- 2. Outils pour caractériser la qualité « hydrique » des sols et leurs services écosystémiques associés**
- 3. Retours d'expériences : références de projets**

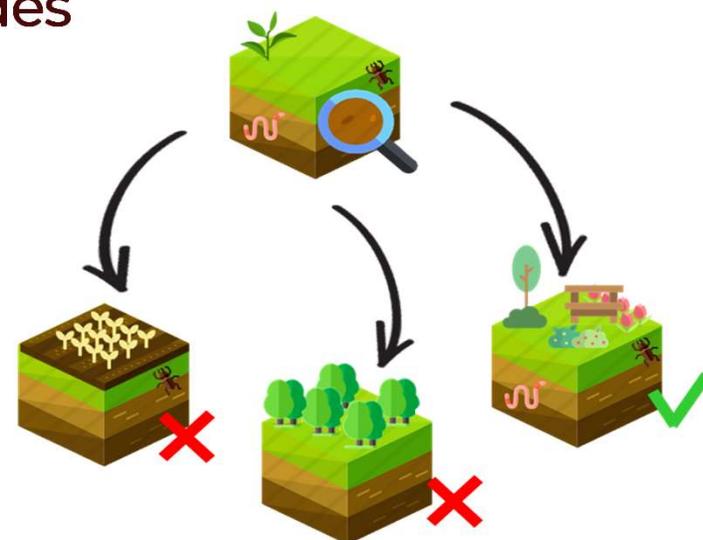


Sol &co: Start-up issue de la recherche

Spécialisée en sciences du sol et en urbanisme qui accompagne les aménageurs dans l'étude, la préservation et l'optimisation des caractéristiques agronomiques, pédologiques et écologiques des sols anthropisés.

Notre objectif :

Mettre le bon usage sur le bon sol





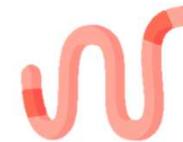
Sol &co: Start-up issue de la recherche



Diagnostic
pédologique



Diagnostic
agronomique



Diagnostic
biologique



Ouverture
de fosses pédo.



Sondages
pédologiques

RESULTATS DES ANALYSES				
PARAMETRE ANALYSE	RESULTAT	UNITE	Interprétations et commentaires	
ANALYSES PHYSIQUES ET DE CONSTITUTION DU SOL				
FACILE MOYEN ELEVE				
Capacité d'échange cationique CEC	14,2	cmol(+)kg		
Matières organiques (C x 1,72)	2,32	%		
Argiles (< 2 µm)	25,6	%		
Limons fins (2 à 20 µm)	38,6	%		
Limons grossiers (20 à 50 µm)	27,7	%		
Sables fins (50 à 200 µm)	4,4	%		
Sables grossiers (200 à 2000 µm)	3,7	%		
Carbonates/calcaire total (CaCO ₃ total)	1,0	%		
Indice de battance (IB)	1,4	°		Sol sans risque de battance
Carbone organique (COT)	1,35	%		La teneur en MO étant faible, penser à revaloriser au maximum possible les paillis.
Azote total Kjeldahl (NTK)	0,14	%		CN favorable.
Rapport C/N	9,6	-		
ANALYSES CHIMIQUES/FERTILITE CHIMIQUE DU SOL				
INSUFFISANT SATISFAISANT ELEVE				
pH eau	8,1	-		
Taux de saturation total (somme cat. échangeables)	155,0	%		
Phosphore assimilable (P _{0,5} Olsen)	0,028	mg/kg		
Potasse échangeable (K _{0,5} cch)	0,212	mg/kg		
Magnésium échangeable (Mg _{0,5} cch)	1,017	µg/kg		
Chaux échangeable (Ca _{0,5} cch)	4,30	µg/kg		
Oxyde de sodium échangeable (Na _{0,5} cch)	0,032	-		
Rapport Mg/Ca _{0,5}	4,81	-		

Analyses de la fertilité du sol



Vers de terre



Macrofaune
épigée



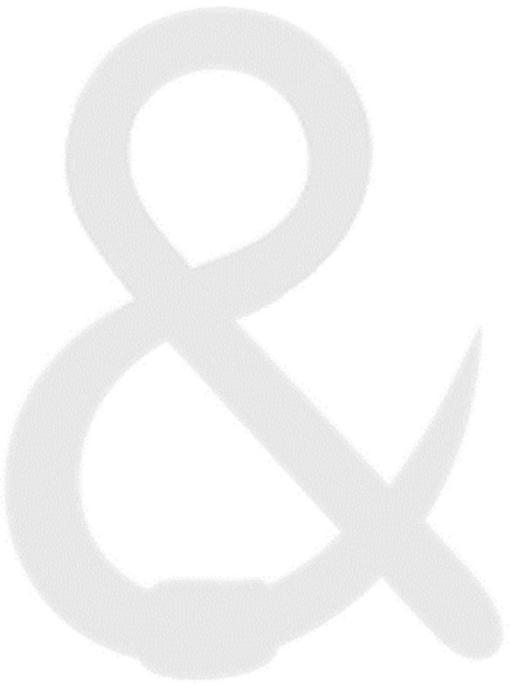
Micro-organismes





Sol &co: Start-up issue de la recherche

La qualité des sols
est encore un sujet de recherche



Partie 1

**Les sols et leurs propriétés :
focus sur les services
« infiltration de l'eau »
et « rétention en eau »**



- 1. C'EST QUOI POUR VOUS UN SOL ?**
- 2. EST-CE QU'IL EXISTE UN OU PLUSIEURS SOLS ?**

I.1. Composition et fonctionnement des sols

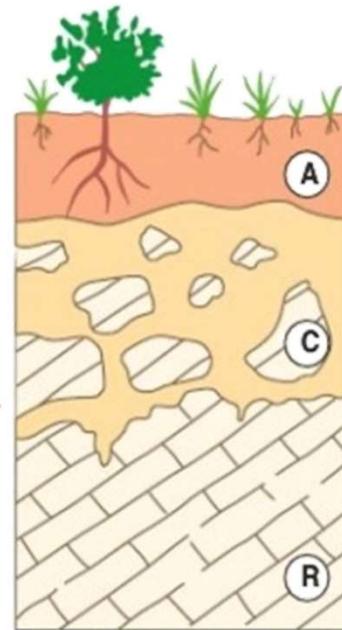
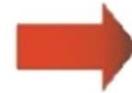
C'EST QUOI POUR VOUS UN SOL ?



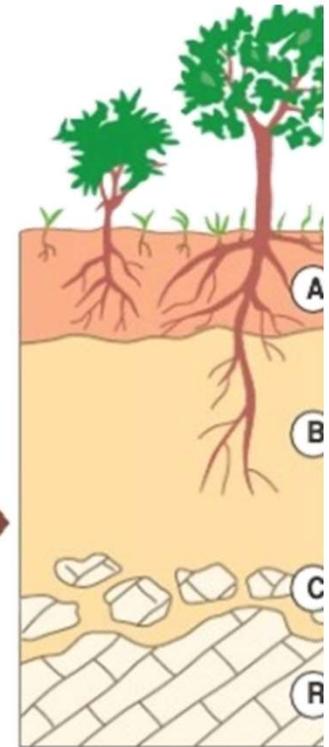
Roche mère (R)
colonisée par des
végétaux pionniers



**Formation d'un horizon
d'altération (C) et
développement de la végétation**



**Formation d'un
horizon humifère (A)
proche de la surface**



**Formation de
nouveaux horizons (E)
et approfondissement**

I.1. Composition et fonctionnement des sols



Atmosphère



10/20 cm – à plusieurs mètres

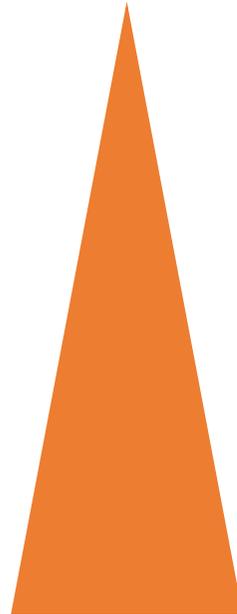
Roche mère

I.1. Composition et fonctionnement des sols

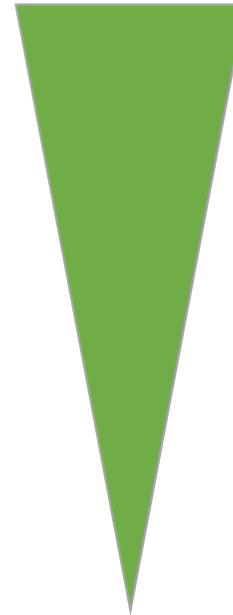
QUELS SONT LES CONSTITUANTS DU SOL ?



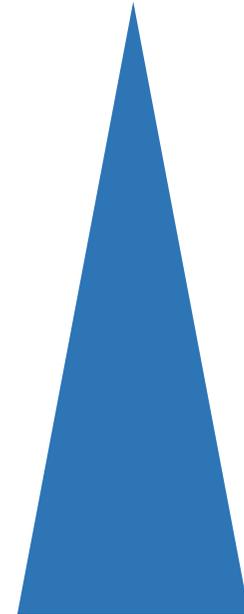
**Matière minérale
solide**



**Matière organique
solide**



**Eau
liquide**



**Air
gazeuse**



I.1. Composition et fonctionnement des sols

EST-CE QU'IL EXISTE UN OU PLUSIEURS SOLS ?



I.1. Composition et fonctionnement des sols

LA MATIERE MINERALE

La texture d'un sol

Taille



- Graviers et cailloux → $> 2 \text{ mm}$
- Sables → $20 \mu\text{m} - 2 \text{ mm}$
- Limons → $2 \mu\text{m} - 20 \mu\text{m}$
- Argile → $< 2 \mu\text{m}$



Sol équilibré



Sol sableux

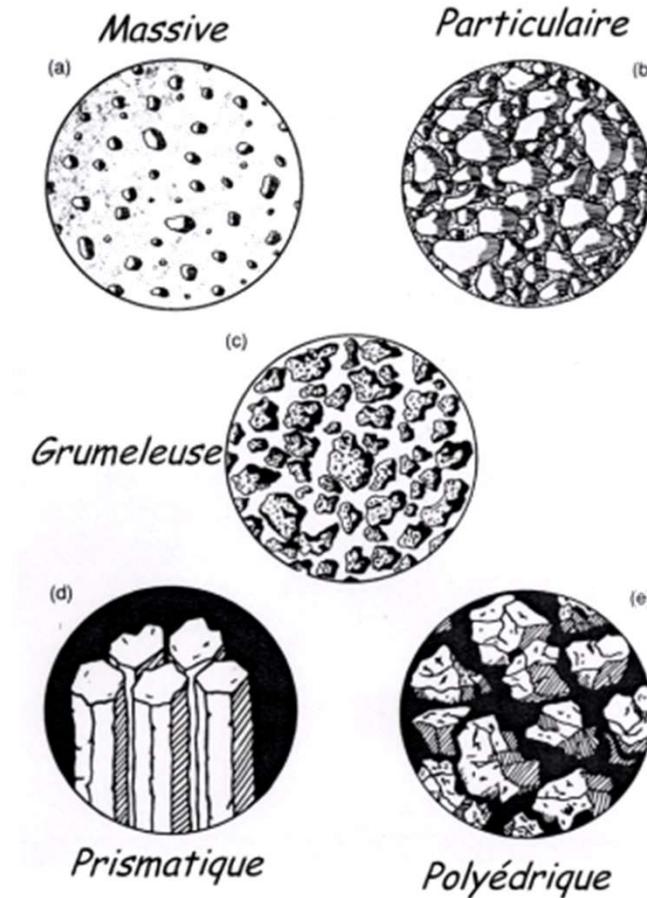


Sol argileux

I.1. Composition et fonctionnement des sols

LA MATIERE MINERALE

La structure d'un sol



I.1. Composition et fonctionnement des sols

LA MATIERE ORGANIQUE

- Matière organique vivante, animale, végétale et microbienne
- Débris d'origine végétale, animale et microbienne
- Matière organique en cours de décomposition
- Matière organique décomposée



I.1. Composition et fonctionnement des sols

LES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES D'UN SOL



- Texture
- Structure
- Couleur
- Porosité
- Compacité
- ...



I.1. Composition et fonctionnement des sols

LES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES D'UN SOL... INFLUENT SUR SES CAPACITES



Sol sableux → Forte infiltration de l'eau
Faible retenu des éléments nutritifs → Carottes
Pommes de terre



Sol argileux → Faible infiltration de l'eau
Forte retenu des éléments nutritifs → Artichauts
Choux

I.1. Composition et fonctionnement des sols

LES CARACTERISTIQUES CHIMIQUES D'UN SOL



- pH
- Taux de matière organique
- Disponibilité des éléments nutritifs
- Acidité/calcaire
- ...



I.1. Composition et fonctionnement des sols

LES CARACTERISTIQUES CHIMIQUES D'UN SOL... INFLUENT SUR SES CAPACITES



Sol calcaire



Faible en éléments nutritifs



Poirier
Framboisier



Humus

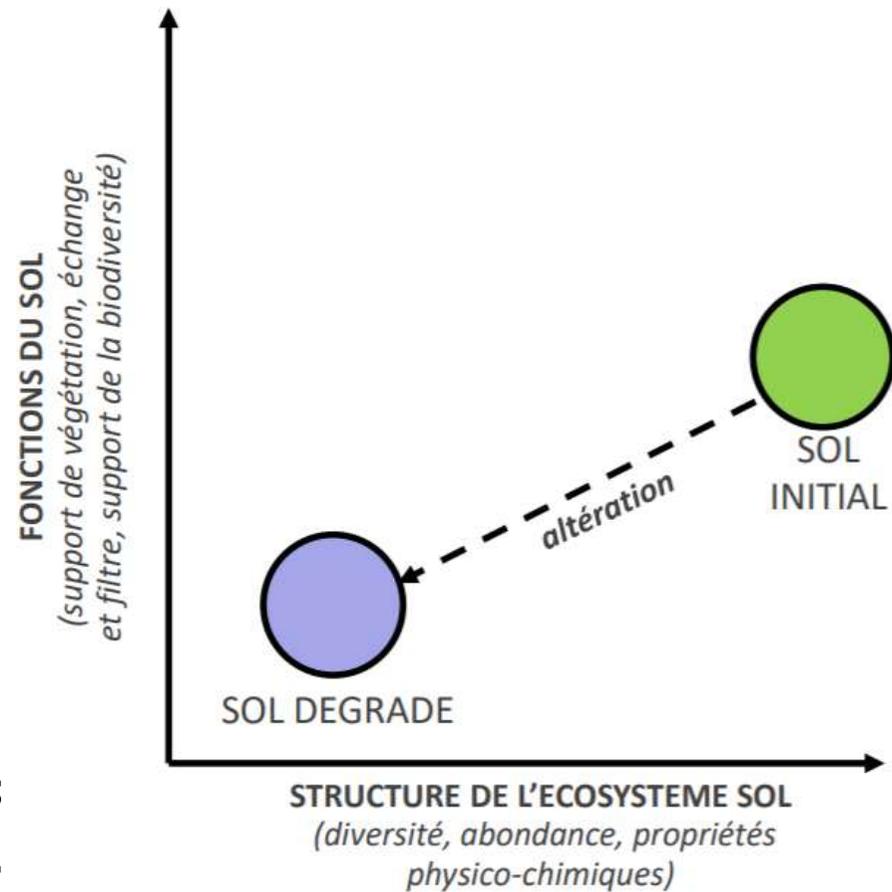


Riche en éléments nutritifs

I.2. Éléments de définition : sols urbains et sols anthropisés

Sols ayant subi une
«modification partielle ou
totale sous l'action humaine »
(Mathieu et Lozet, 2011)

D'après vous, donnez des exemples
de sols anthropisés...



I.2. Éléments de définition : sols urbains et sols anthropisés

Les Technosols

WRB - World Reference Base (Rossiter, 2007; Lehmann, 2014).

les Technosols sont définis comme des sols contenant:

- (i) un nombre substantiel d'artéfacts (*i.e.* de substances dans le sol, liquides ou solides, reconnues comme fabriquées par l'Homme ou extraites depuis de grandes profondeurs) à **plus de 20%** (en volume ou en masse);
- (ii) et/ou un **scellement** continu imperméable ou une **géomembrane** construite,
- (iii) et/ou des **matériaux rocheux technique d'origine anthropique**

(Rossiter, 2007)

D'après vous, est-ce que les sols urbains sont des Technosols ?

I.2. Éléments de définition : sols urbains et sols anthropisés

Les sols urbains, dans une définition plus géographique, sont les sols des **aires urbaines** (Blanchart, 2018).

L'aire urbaine constitue un ensemble de communes d'un seul tenant et sans enclave, formé par un pôle urbain (unité urbaine offrant plus de 5 000 emplois) de plus de 10 000 emplois et par sa couronne périurbaine, c'est-à-dire les communes dont 40% de la population active résidente travaillent dans une autre commune de l'aire urbaine (INSEE, 2011)

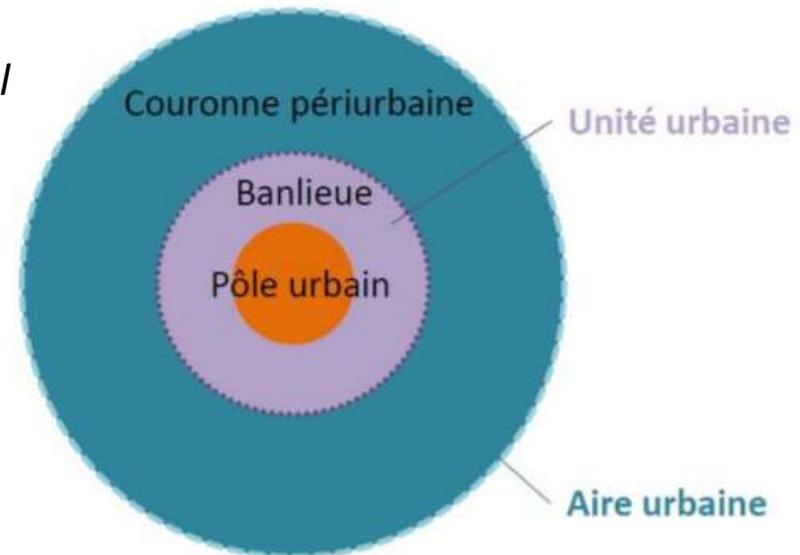


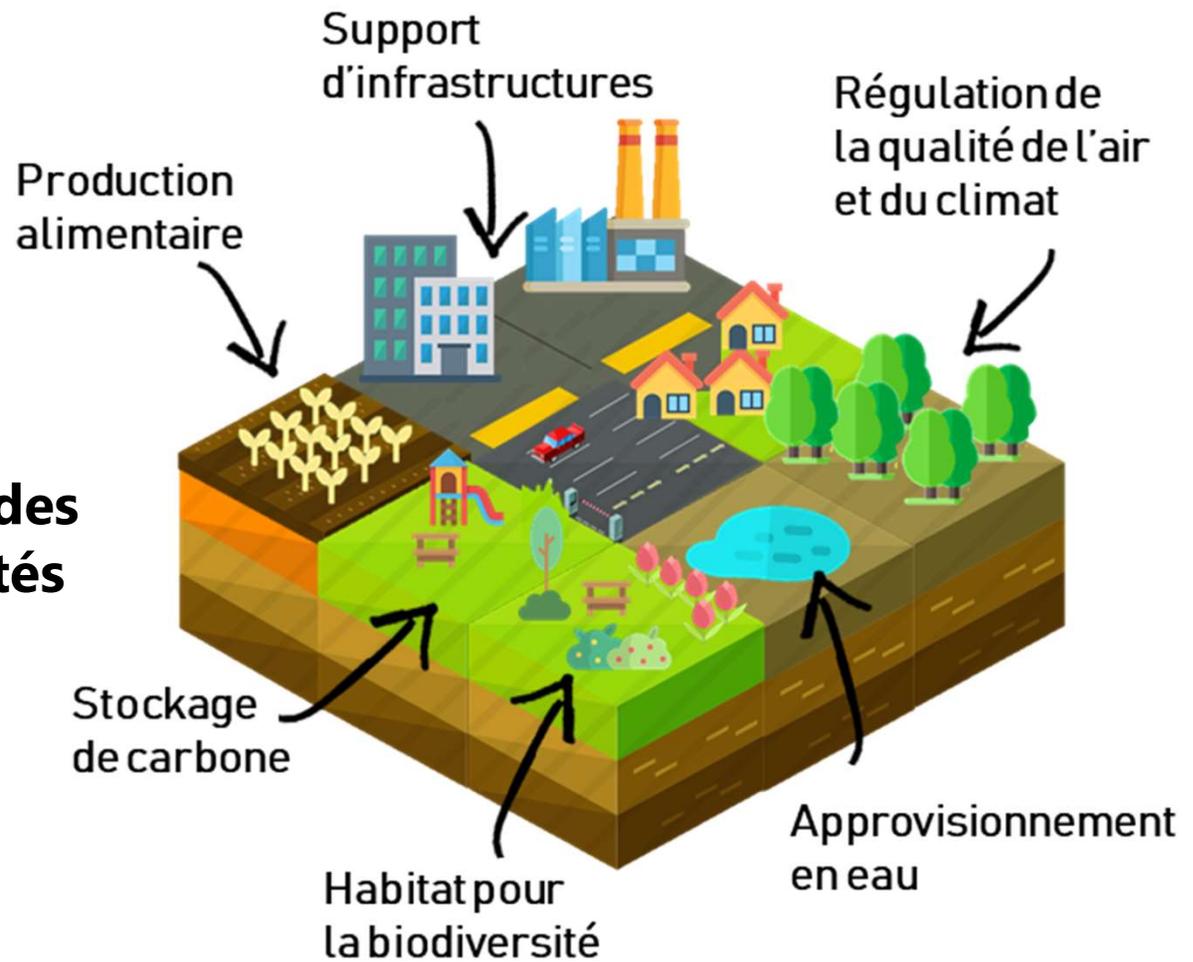
Figure 6 : Les trois espaces à dominante urbaine selon le ZAU de l'INSEE, INSEE, 2011

I.2. Éléments de définition : sols urbains et sols anthropisés

Caractérisés par des modifications anthropiques majeures, ils peuvent également faire référence à des sols dont l'historique d'usage est moins impacté par les activités humaines (e.g. usages agricoles, forestiers, prairiaux, d'espaces verts). De plus, les sols urbains se caractérisent par une **forte proportion de couvertures de sol scellées**, mais également par une gamme particulièrement large de couvertures variées (e.g. semi-scillé, nu, potager, arbre, pelouse).

I.2. Éléments de définition : sols urbains et sols anthropisés

Les sols urbains fournissent des services essentiels aux sociétés humaines



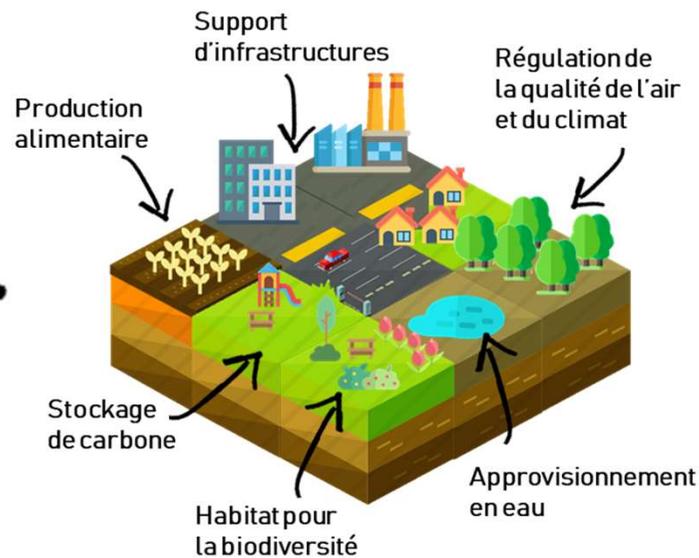
I.2. Éléments de définition : sols urbains et sols anthropisés

Sol urbain surface



Approche foncière

Sol urbain volume



Approche systématique et fonctionnelle

Optimiser les services fournis par les sols

Répondre aux enjeux environnementaux urbains

Gérer de façon durable les sols agricoles, forestiers et urbains

I.2. Éléments de déanthropisés



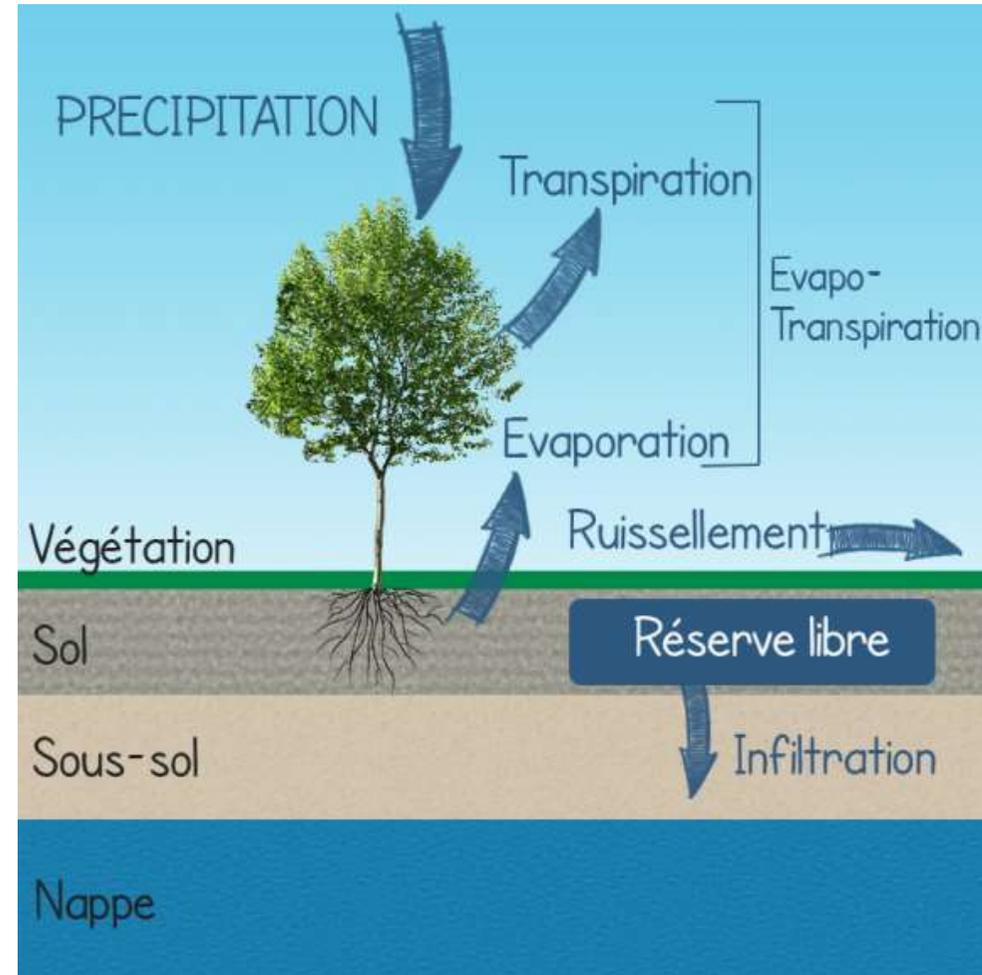
I.2. Services écosystémiques

Focus sur les services « infiltration de l'eau » et « rétention en eau »

Services de régulation

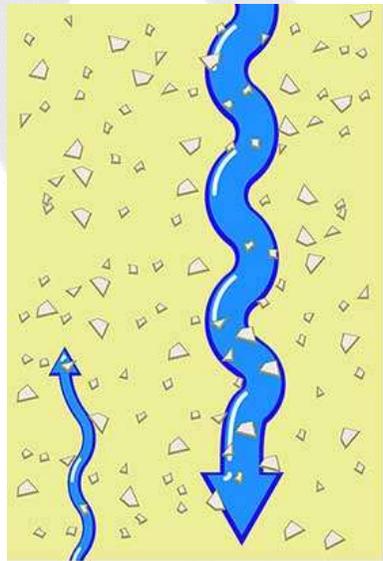
- Partage de l'eau entre infiltration et ruissellement
- Régulateur des transferts entre eau atmosphérique, eau souterraine et eau de surface
- Stockage de l'eau

(Dörfliger & Odoux, 2014).



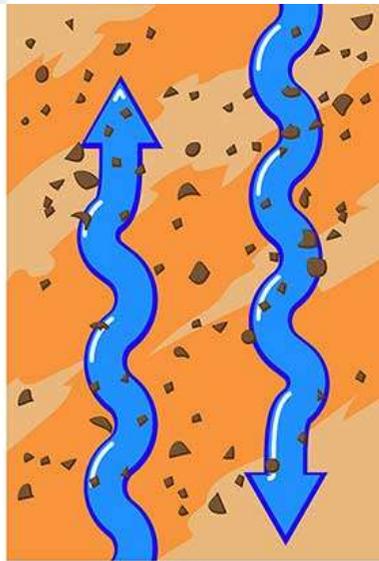
I.3. Concepts des propriétés hydriques des sols (urbains)

L'INFILTRATION : Processus physique par lequel l'eau pénètre dans les sols et alimente les nappes.



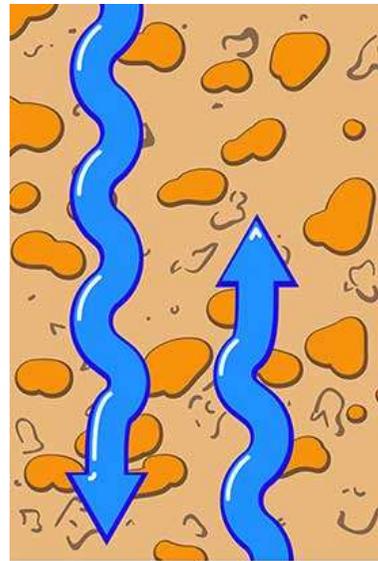
1

1. Sols sableux



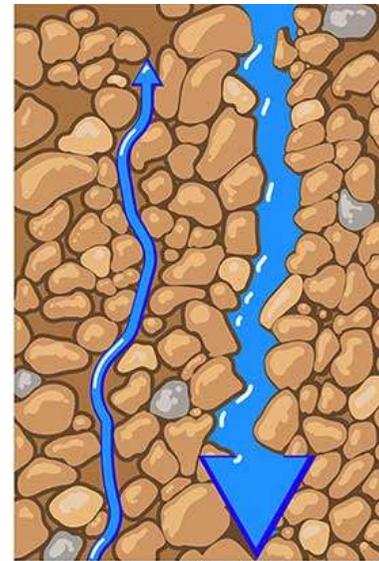
2

2. Sols limoneux, 0-10% d'argile



3

3. Sols argileux avec 25% d'argile



4

4. Sols argileux avec 25-40% d'argile



5

5. Sols argileux avec 40% d'argile

I.3. Concepts des propriétés hydriques des sols (urbains)

1. Sols sableux

Les sols sableux sont souvent secs, pauvres en substances nutritives et très drainants. Ils sont peu (ou pas du tout) aptes à transporter l'eau jusqu'aux couches profondes par capillarités. Par conséquent, le travail des sols sableux au printemps, doit être réduit au minimum pour conserver l'humidité dans le lit de semences. La capacité des sols sableux à retenir les substances nutritives et l'eau peut être améliorée par un apport en matière organique.

2. Sols limoneux, 0-10% d'argile

Ces sols sont différents des sols sableux par leur facilité à former une croûte, souvent très dure. S'ils sont trop travaillés, ils peuvent devenir compacts ce qui réduit leur capacité d'infiltration d'eau lors des périodes humides. Par temps sec, ils peuvent durcir et être difficiles à travailler. Cependant, ils sont généralement plus faciles à travailler et peuvent stocker des volumes d'eau considérables. Ils exigent une bonne consolidation, mais il faut éviter de les travailler par temps humide.

3. Sols argileux avec 25% d'argile

Ces sols sont différents des précédents car ils peuvent être sujet à une croûte de battance très sévère. La croûte est si dure qu'elle est difficile à détruire. Avec un faible taux d'argile et de matière organique, la formation d'agrégats est souvent médiocre.

4. Sols argileux avec 25-40% d'argile

Ces sols ont une bonne capacité à transporter de l'eau par action capillaire depuis les couches profondes, mais la diffusion est lente et donc les exigences en eau des végétaux ne sont pas couvertes. La couleur de ces sols est plus sombre et leurs agrégations sont plus distinctes. L'agrégation diminue le risque de formation d'une croûte. Ces sols se travaillent facilement si la teneur en eau est correcte. Il existe un risque de formation de mottes si le sol est trop sec ou bien de "beurrage" s'il est trop humide. Leur structure peut être améliorée grâce au climat, aux racines,...

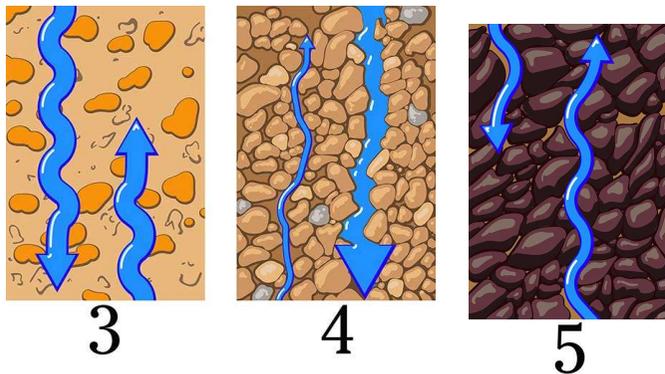
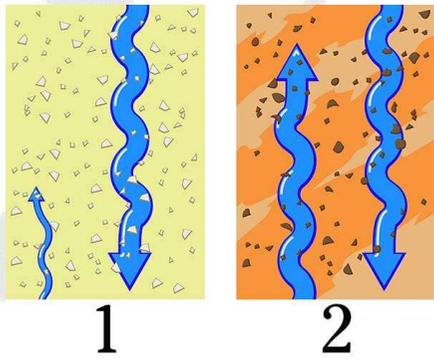
5. Sols argileux avec 40% d'argile

Les argiles lourdes ont une grande capacité de rétention d'eau, mais la plus grande partie de cette eau est étroitement liée et n'est pas disponible par les végétaux. La teneur en humus est souvent supérieure à celles des autres sols minéraux. Elles ne forment pas de croûte en séchant. La structure de ces sols peut être améliorée grâce au gel/dégel et l'assèchement/l'humidification. Quand l'hiver est froid, l'argile gèle et donne une structure agrégée très favorable à la couche superficielle du sol. Si elle sèche sans avoir gelé, l'argile peut devenir très rigide et difficile à travailler.

Ces sols saturés en eau, peuvent être collants et très imperméables. A cause de la forte présence d'argile, la teneur en substances nutritives est très élevée. Les argiles lourdes, quand elles sont sèches, nécessitent une reconsolidation importante au semis mais pas si elles sont humides et malléables. Les travailler lorsqu'elles sont humides présente un risque de compaction du sol.

I.3. Concepts des propriétés hydriques des sols (urbains)

L'INFILTRATION : Processus physique par lequel l'eau pénètre dans les sols et alimente les nappes.



Texture

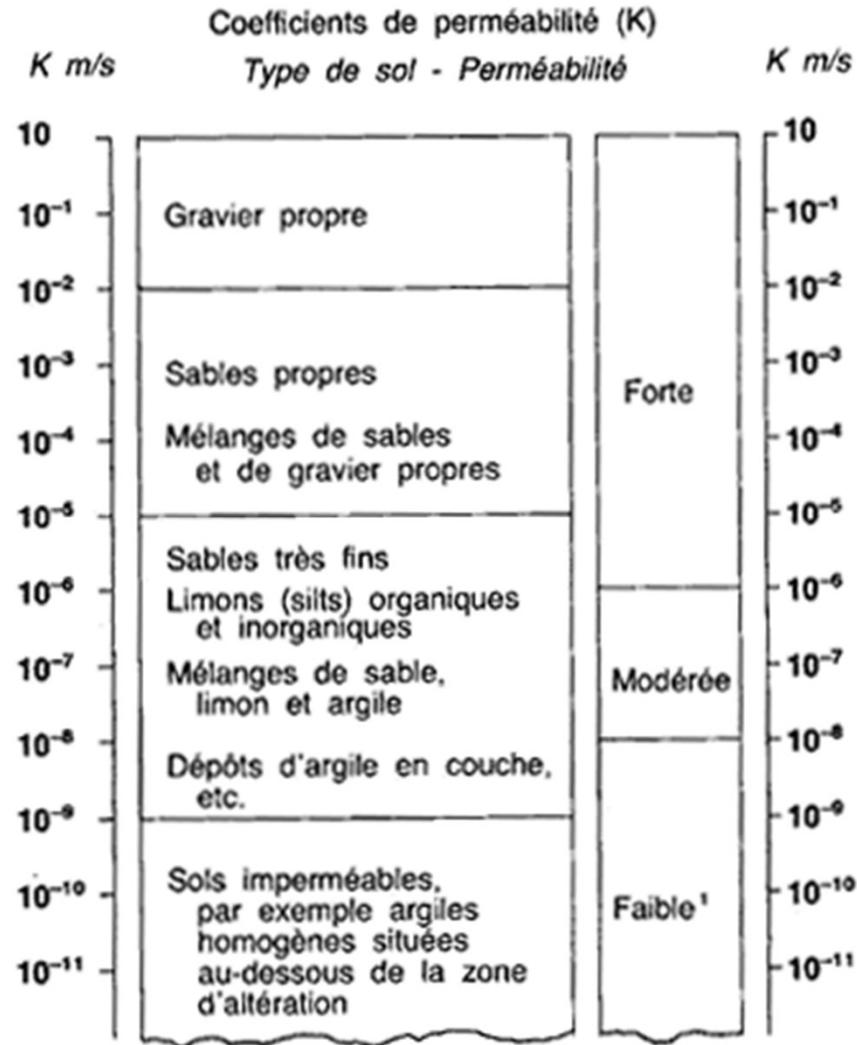
Sable	5,0
Limon sableux	2,5
Limon	1,3
Limon argileux	0,8
Argile silteuse	0,25
Argile	0,05

Perméabilité (cm/h)

Classes de perméabilité du sol	Taux de perméabilité ¹	
	cm/heure	cm/jour
Très faible	moins de 0,13	moins de 3
Faible	0,13 - 0,3	3 - 12
Modérément faible	0,5 - 2,0	12 - 48
Modérée	2,0 - 6,3	48 - 151
Modérément forte	6,3 - 12,7	151 - 305
Forte	12,7 - 25	305 - 600
Très forte	plus de 25	plus de 600

I.3. Concepts des propriétés hydriques des sols (urbains)

L'INFILTRATION



I.3. Concepts des propriétés hydriques des sols (urbains)

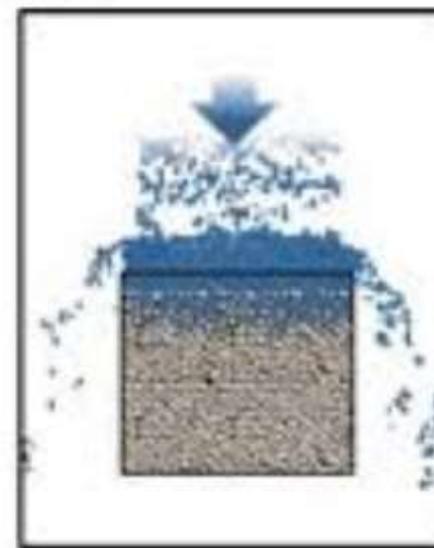
L'INFILTRATION : Processus physique par lequel l'eau pénètre dans les sols et alimente les nappes.



Sand



Silt

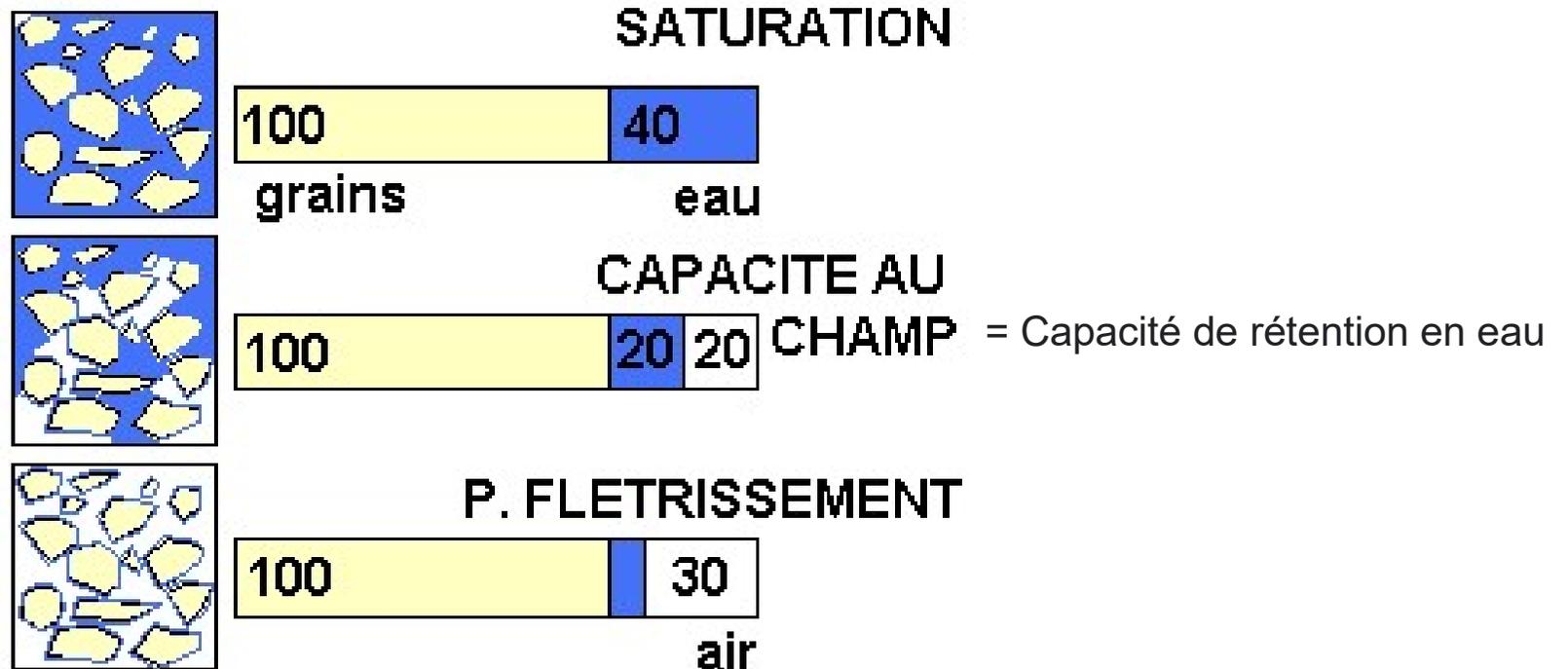


Clay

The COMET Program

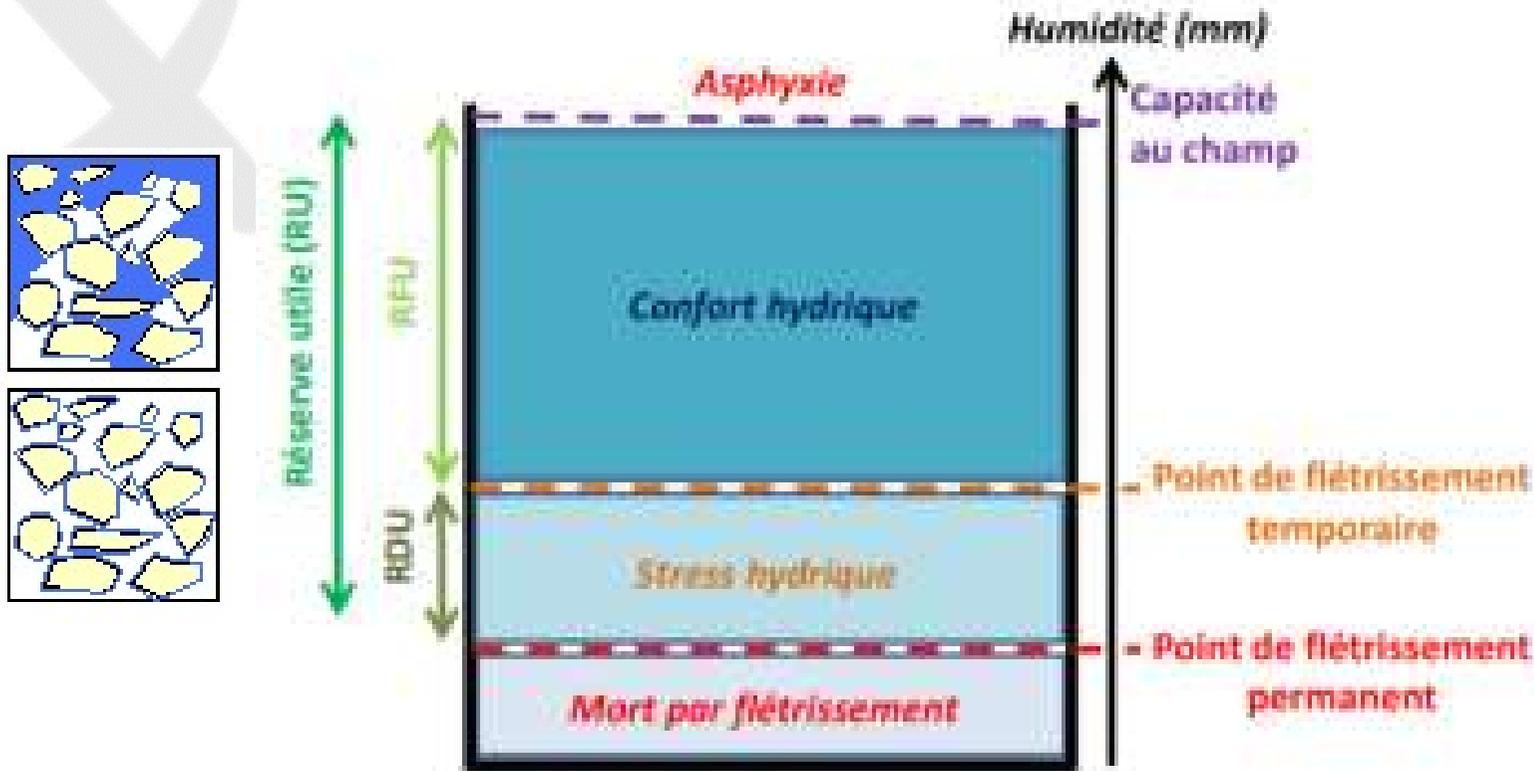
I.3. Concepts des propriétés hydriques des sols (urbains)

LES RETENTIONS EN EAU : Processus physique permettant à l'eau d'être maintenue contre l'effet de la gravité, dans le sol, et qui adhère à des pores inférieurs à 10 µm



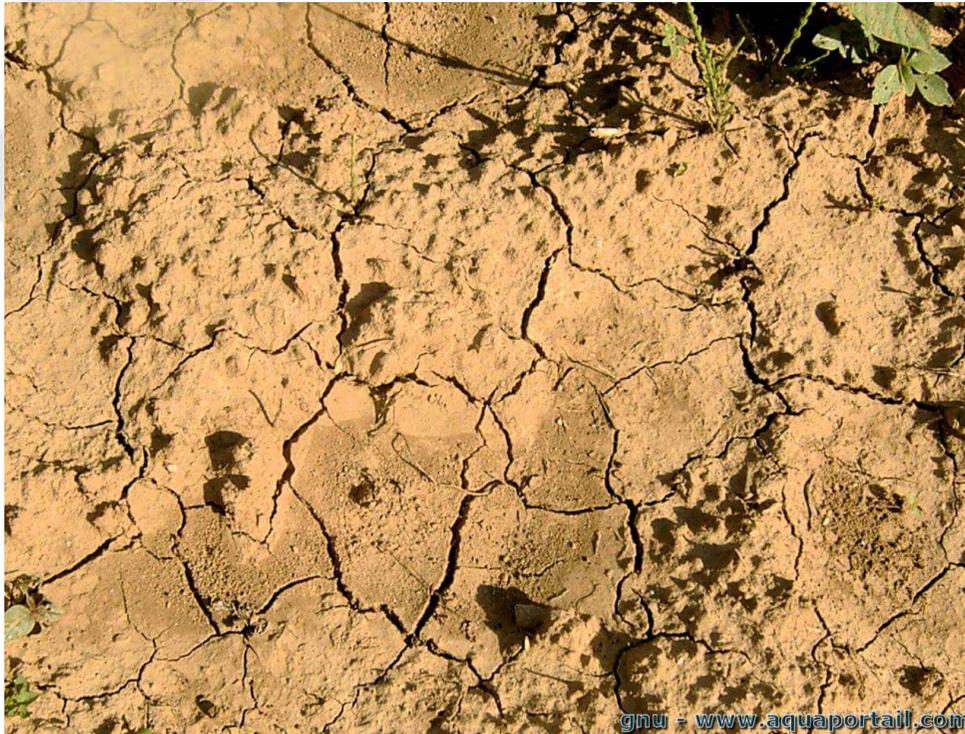
I.3. Concepts des propriétés hydriques des sols (urbains)

LA RESERVE UTILE: La quantité maximale d'eau qu'un sol peut stocker et restituer aux plantes pour leur alimentation hydrique.

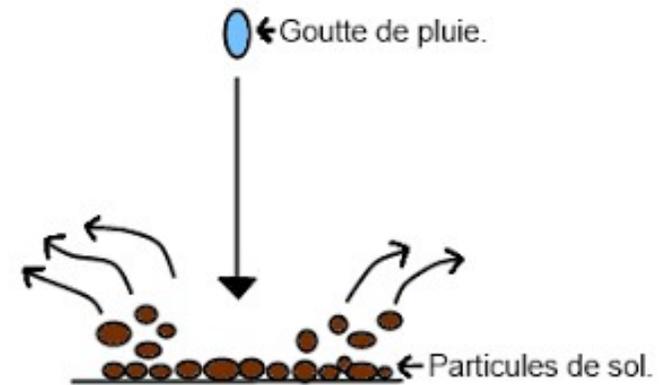


I.3. Concepts des propriétés hydriques des sols (urbains)

LA BATTANCE : Phénomène de dégradation de la structure grumeleuse et de la porosité d'un sol sous l'action de la pluie



Lié à une mauvaise stabilité structurale des agrégats de sol



I.3. Concepts des propriétés hydriques des sols (urbains)

LA BATTANCE : Phénomène de dégradation de la structure grumeleuse et de la porosité d'un sol sous l'action de la pluie

INDICE DE BATTANCE (IB)

$$\text{■ indice de battance (IB)} = \frac{(1,5 * LF) + (0,75 * LG)}{(A - 10MO)} - C$$

- avec :

LF = Limons Fins

LG = Limons Grossiers

A = Argile

MO = Matière Organique

C = 0,2 * (pH - 7)

Interprétation :

IB < 1,4 : sol non battant

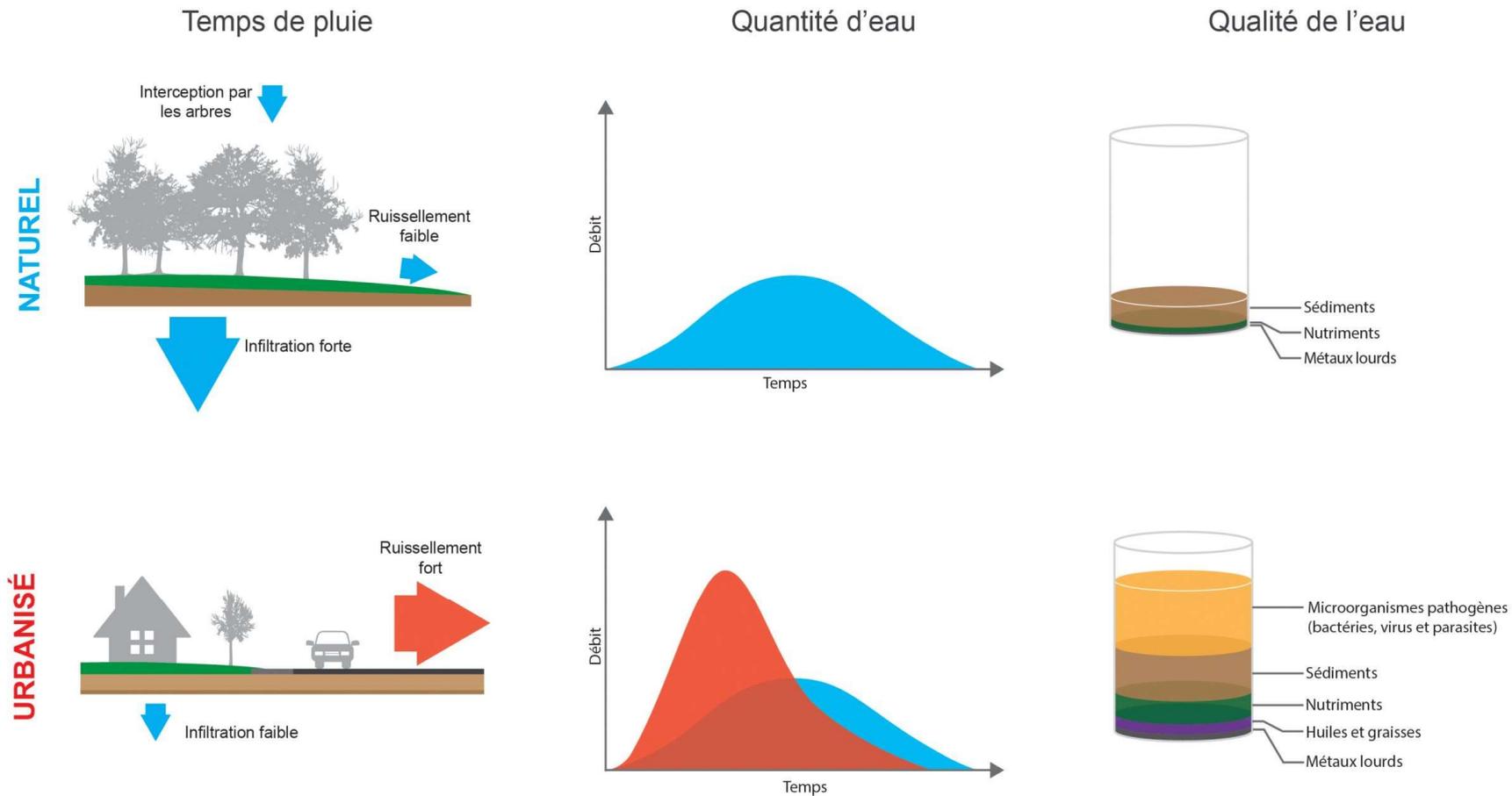
IB de 1,4 à 1,6 : sol peu battant

IB de 1,6 à 1,8 : sol battant

IB > 1,8 : sol très battant

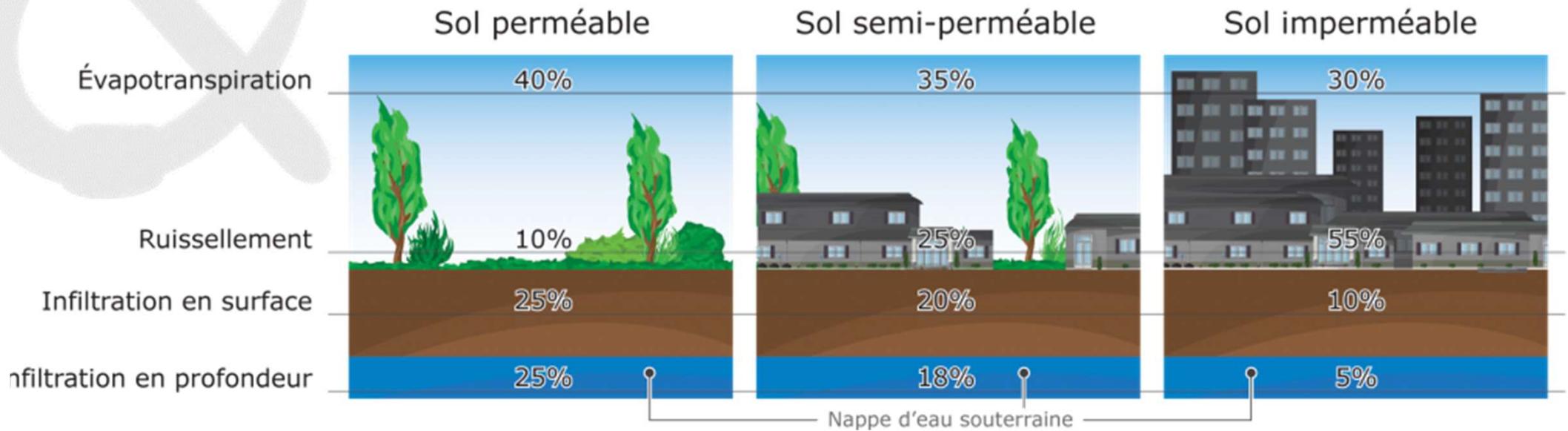
I.3. Concepts des propriétés hydriques des sols (urbains)

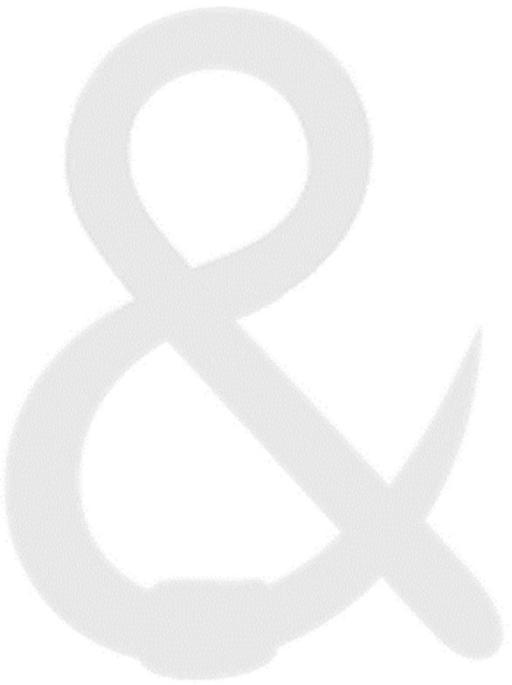
Conséquences de l'urbanisation sur les propriétés hydriques des sols



I.3. Concepts des propriétés hydriques des sols (urbains)

Conséquences de l'imperméabilisation sur les propriétés hydriques des sols





Partie 2

**Outils pour caractériser
la qualité « hydrique »
des sols et leurs services
écosystémiques associés**

II.1. Protocoles pour l'évaluation des indicateurs

jouant un rôle dans l'infiltration et la rétention de l'eau des sols urbains

Méthode de terrain: 1. Outils cartographiques

GÉ  **RISQUES**

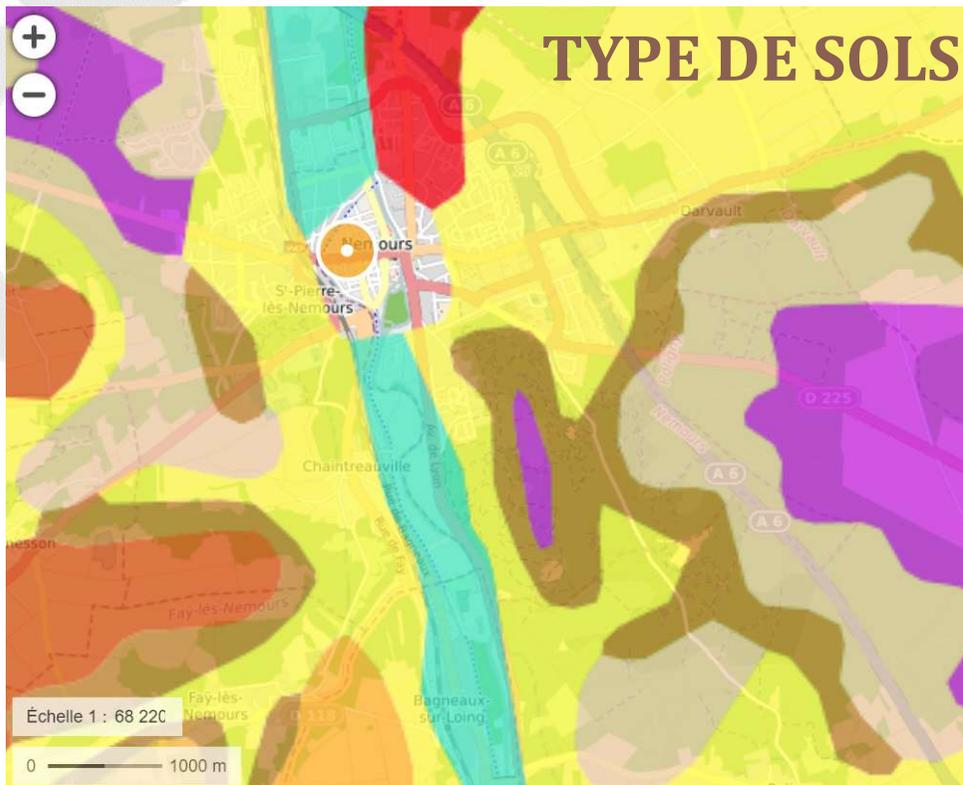
<https://www.georisques.gouv.fr/cartes-interactives#/>



Risque gonflement
et retrait des argiles

II.1. Protocoles pour l'évaluation des indicateurs

jouant un rôle dans l'infiltration et la rétention de l'eau des sols urbains



Méthode de terrain: 1. Outils cartographiques

Sols minéraux

- Lithosols
- Régosols
- Rankosols
- Arénosols
- Peyrosols

Sols des vallons, vallées et milieux côtiers

- Colluviosols
- Fluviosols
- Thalassosols
- Sodisalsols

Sols issus de matériaux calcaires

- Rendisols
- Calcisols
- Rendosols
- Calcosols
- Dolomitosols

Sols peu évolués

- Brunisols
- Andosols
- Vertisols
- Organosols

Sols évolués

- Fersialsols
- Néoluvisols
- Luvisols
- Véracrisols
- Alocrisols
- Podzols

Sols soumis à l'excès d'eau

- Histosols
- Réductisols
- Rédoxisols
- Colluviosols-Rédoxisols
- Brunisols-Rédoxisols
- Néoluvisols-Rédoxisols
- Luvisols-Rédoxisols
- Planosols
- Pélosols

Description des sols

http://gissol.fr/gissol/fiches_geoportail/fiches_descriptives_ger.pdf

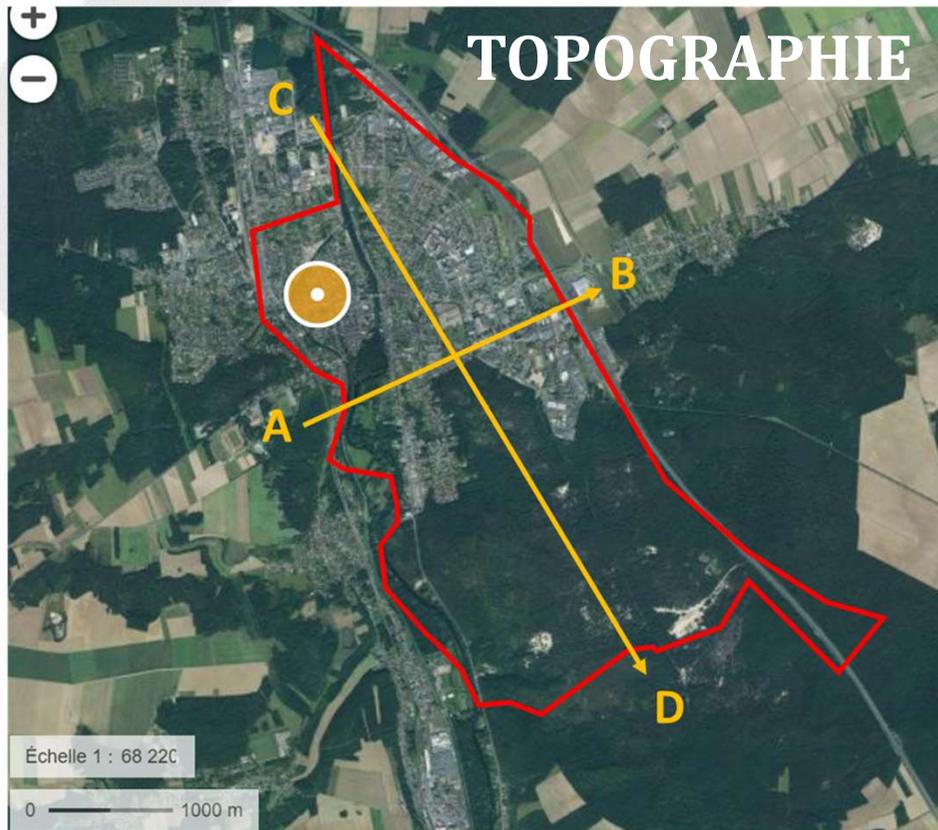
Il manque les Anthrosols (ou Technosols)

<https://www.geoportail.gouv.fr/>

Accessible depuis février 2020

II.1. Protocoles pour l'évaluation des indicateurs

jouant un rôle dans l'infiltration et la rétention de l'eau des sols urbains



<https://www.geoportail.gouv.fr/>

Méthode de terrain: 1. Outils cartographiques



II.1. Protocoles pour l'évaluation des indicateurs

jouant un rôle dans l'infiltration et la rétention de l'eau des sols urbains

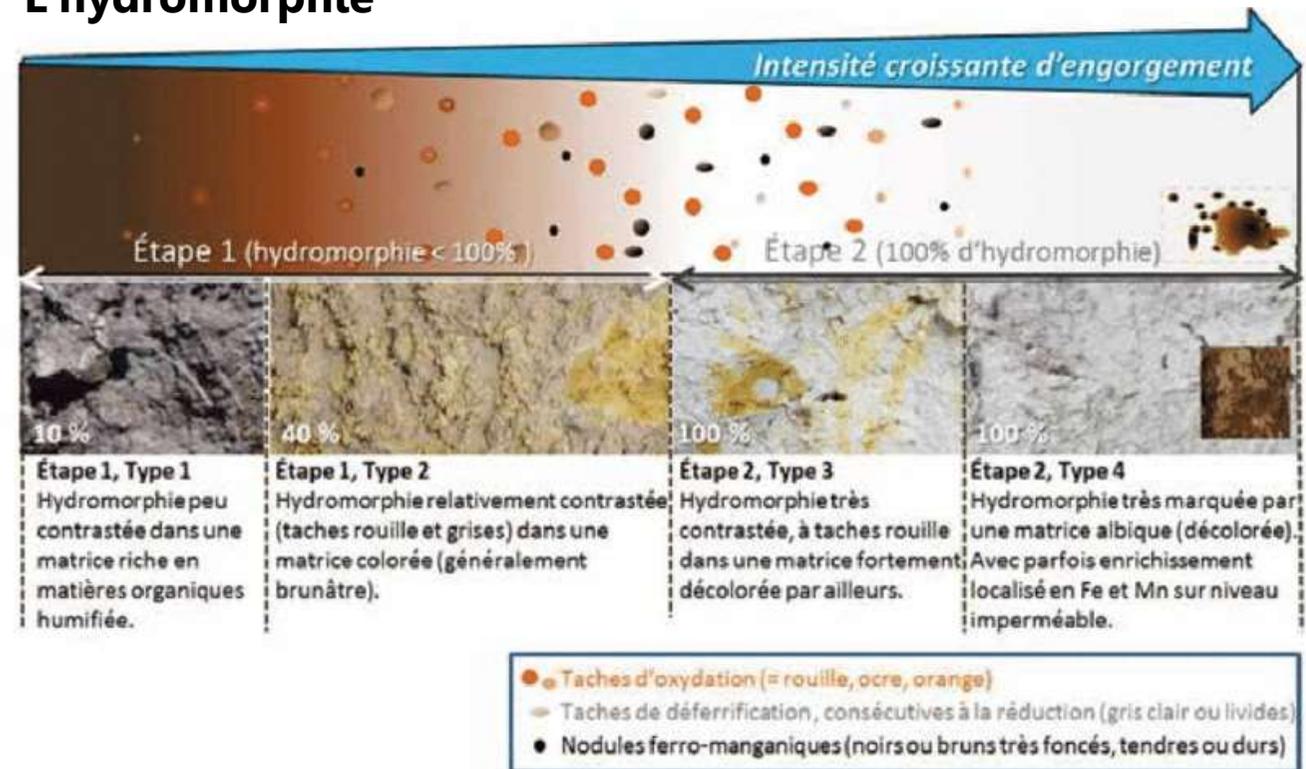
Méthode de terrain: 2. les informations visuels

(Croutes de) battance



Lié à une mauvaise stabilité structural (cause ou conséquence d'un tassement). La circulation de l'eau et de l'air dans le sol est limitée

L'hydromorphie



II.1. Protocoles pour l'évaluation des indicateurs

jouant un rôle dans l'infiltration et la rétention de l'eau des sols urbains

Méthode de terrain: 2. les informations visuels

La texture

	Grave	Sol sableux	Sol limoneux	Sol argileux						
Dénomination des sols										
Taille des grains	50 mm	2 mm	0.08 mm	0.002 mm						
Capacité d'infiltration en $m^3 / s / m^2$	1	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}
Equivalence en cm/h				36	3.6	0.36				
	Très perméable						Imperméable			

Le test du boudin

Tableau 3 : Ordres de grandeur de la taille des grains et de la capacité d'infiltration selon le type de sol

II.1. Protocoles pour l'évaluation des indicateurs

jouant un rôle dans l'infiltration et la rétention de l'eau des sols urbains

Méthode de terrain: 2. les informations visuels

<i>Classe de perméabilité (tableau 15)</i>	<i>Texture et profil pédologique</i>	<i>Comportement physique</i>	<i>Couleur et taches</i>
Perméabilité très faible	Claypans, argile lourde, ou en présence d'un substrat très peu perméable	Le sol se fissure beaucoup en séchant, à l'exception des couches durcies qui ne se fissurent, ni ne se fracturent.	Généralement tacheté
	Hardpan distinct du claypan	Les hardpans associés à cette classe consistent souvent en couches très durcies de sable ou de sable/gravier. Ils sont généralement sonores quand on les frappe avec une bêche.	Très tacheté
Perméabilité faible	Argile ou argile silteuse, claypans, couches modérément durcies	Retrait et fissuration sont moins prononcés que dans la classe des sols très peu perméables.	Les taches sont moyennement importantes.
	Limon (silt), couche dure enrichie en limon (silt)		Des taches moyennement importantes et une couleur grisâtre sont des signes caractéristiques de ce type de structure.
Perméabilité modérément faible	Horizons à texture modérément fine montrant une petite quantité de granulation ou une légère dispersion des particules	Le retrait n'est pas très prononcé et les fissures ne sont ni larges ni nombreuses.	Taches en quantité modérée, mais la couleur est plus vive que celle de la classe peu perméable.
Perméabilité modérée	Textures modérément fines, légèrement plastiques à l'état mouillé et modérément dures à l'état sec		En général, taches en faible quantité
Perméabilité modérément forte	Sols de texture modérément fine à moyenne		Taches occasionnelles. La couleur est généralement d'un jaune modérément vil.
Perméabilité forte	Sols de texture moyenne à modérément grossière		Pas de taches, à moins que la nappe phréatique ne soit élevée. Couleur généralement très vive. Teneur en matière organique habituellement modérée ou faible.
Perméabilité très forte	Sols graveleux ou de texture grossière		La couleur est vive, à moins que la nappe phréatique ne soit élevée.

II.1. Protocoles pour l'évaluation des indicateurs

jouant un rôle dans l'infiltration et la rétention de l'eau des sols urbains

Méthode de terrain: 3. le test d'infiltration



- Creuser un trou d'environ 40cm de côté en prenant soin que les bords soient les plus verticaux possibles. La profondeur sera la même que celle prévu dans l'aménagement (sinon, environ 40cm).
- Remplir d'eau pendant 1 heure afin de bien hydrater le sous-sol (durant ce temps ne pas laisser dessécher).
- Après 1 heure, placer un repère dans le trou (tige et mètre).
- Remplir l'orifice d'eau à la hauteur d'environ 30 cm.
- Repérer le niveau sur le témoin de concert avec un chronomètre.
- Durant 30 minutes, par fraction de 10 minutes, mesurer et noter le niveau.



Quantité d'eau en cm / min	Qualité de votre sol
Inférieur à 0,03 cm	Non drainant
Supérieur à 0,03 et jusqu'à 0,12 cm / min	Moyennement drainant
Supérieur à 0,12 et jusqu'à 30 cm / min	Drainant
Supérieur à 30 cm / mon	Trop drainant

II.1. Protocoles pour l'évaluation des indicateurs

jouant un rôle dans l'infiltration et la rétention de l'eau des sols urbains

BEST method

Beerkan estimation of soil transfer parameters

Méthode de terrain :

3. le test d'infiltration simplifié

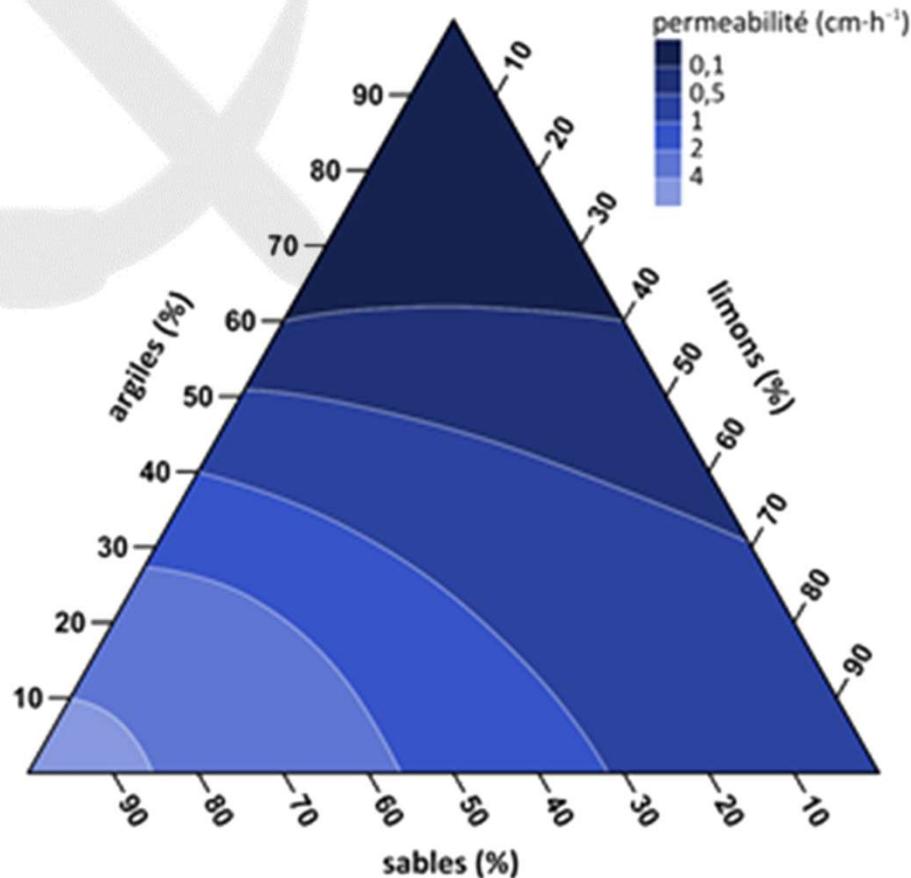


<https://www.youtube.com/watch?v=vDrpUBuwvwY>

II.1. Protocoles pour l'évaluation des indicateurs

jouant un rôle dans l'infiltration et la rétention de l'eau des sols urbains

Méthode de laboratoire: 2. d'après la texture



Classes de perméabilité du sol	Taux de perméabilité ¹	
	cm/heure	cm/jour
Très faible	moins de 0,13	moins de 3
Faible	0,13 - 0,3	3 - 12
Modérément faible	0,5 - 2,0	12 - 48
Modérée	2,0 - 6,3	48 - 151
Modérément forte	6,3 - 12,7	151 - 305
Forte	12,7 - 25	305 - 600
Très forte	plus de 25	plus de 600

II.1. Protocoles pour l'évaluation des indicateurs

jouant un rôle dans l'infiltration et la rétention de l'eau des sols urbains

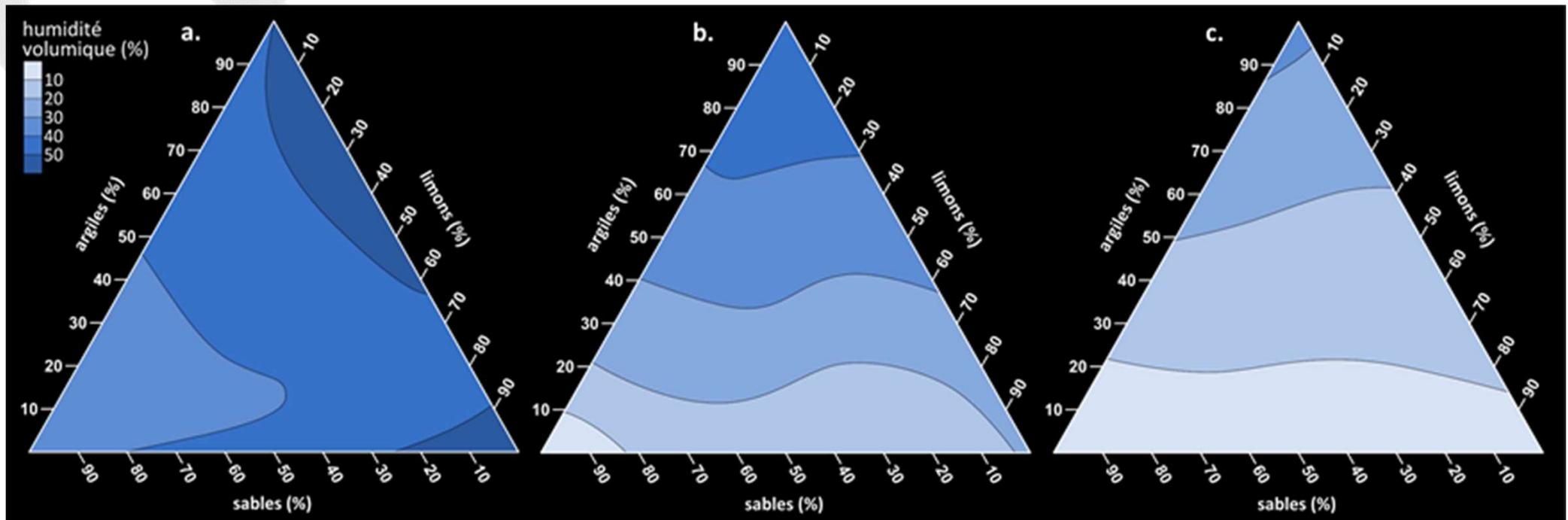
Méthode de laboratoire: 2. d'après la texture

Humidité volumique selon la classe texturale :

Point de saturation

Capacité de rétention

Point de flétrissement



d'après [Twarakavi et al., 2010](#)

s indicateurs au des sols urbains

Essais et K mesuré	Illustration	Nature des sols	Principe de l'essai	Remarques sur le domaine d'application
<p>Percolation à niveau constant (essai Porchet)ⁱ</p> <p><i>K local</i></p>		Sols superficiels, suffisamment cohérents	Réalisation d'une cavité par sondage manuel ; après saturation préalable, suivi du volume d'eau utilisé pour maintenir le niveau d'eau dans la cavité.	Essai en sondage (de faible profondeur et de faible diamètre) généralement effectué avec une tarière à main et mesurant la perméabilité locale, davantage représentatif de techniques d'infiltration de petites tailles.
<p>Infiltromètre ouvert à double-anneau</p> <p>NF EN ISO 22282-5</p> <p><i>K vertical dominante</i></p>		Sols superficiels moyennement à peu perméables <i>K entre 10⁻⁵ et 10⁻⁸ m/s</i>	Préparation d'une surface plane à profondeur donnée ; après saturation préalable, suivi du volume d'eau utilisé pour maintenir le niveau d'eau dans l'anneau central. L'anneau externe, dit de garde, permet de privilégier les écoulements verticaux.	Essai en surface (pouvant être réalisé dans une fosse), privilégiant la prise en compte de la perméabilité verticale des sols, davantage représentative de techniques d'infiltration telles que les chaussées à structure-réservoir.
<p>Test à la fosse / Essai Matsuo</p> <p>Non normalisé</p> <p><i>K global / K vertical</i></p>		Sols superficiels, suffisamment cohérents	Réalisation d'une cavité par sondage à la pelle ; après saturation préalable, suivi du niveau d'eau utilisé pour maintenir le niveau d'eau dans la cavité. Pour accéder à la seule perméabilité verticale (essai Matsuo), un 2 ^{ème} essai est réalisé en allongeant la fosse afin de supprimer les effets de bord.	Essai en cavité de grandes dimensions privilégiant la perméabilité globale du terrain, davantage représentative de techniques d'infiltration à forte emprise. Une saturation préalable sera difficilement atteignable dans le cas des sols assez perméables ($K > 10^{-4}$ m/s)
<p>Essai d'eau dans un forage en tube ouvert (type Nasberg)ⁱⁱ</p> <p>NF EN ISO 2228-2</p> <p><i>K local</i></p>		Sols fins suffisamment homogènes; <i>K supérieur à 10⁻⁶ m/s</i>	Réalisation d'une cavité par forage ; mesure de la perméabilité par suivi de la variation de charge hydraulique créée de préférence par injection à débit constant, à différentes profondeurs.	Essai en sondage pouvant privilégier la prise en compte de la perméabilité horizontale des sols, davantage représentative du fonctionnement attendu de techniques d'infiltration telles que les puits d'infiltration.

ⁱ Un protocole d'essai est défini dans le cadre des études de faisabilité d'une filière ANC.

ⁱⁱ Des perméabilités plus faibles peuvent être mesurées avec un essai à charge variable.

https://www.graie.org/graie/graiedoc/reseaux/pluvial/TA_FreinsAvantages/capacite_infiltration_sept20VF.pdf

II.1. Protocoles pour l'évaluation des indicateurs

jouant un rôle dans l'infiltration et la rétention de l'eau des sols urbains

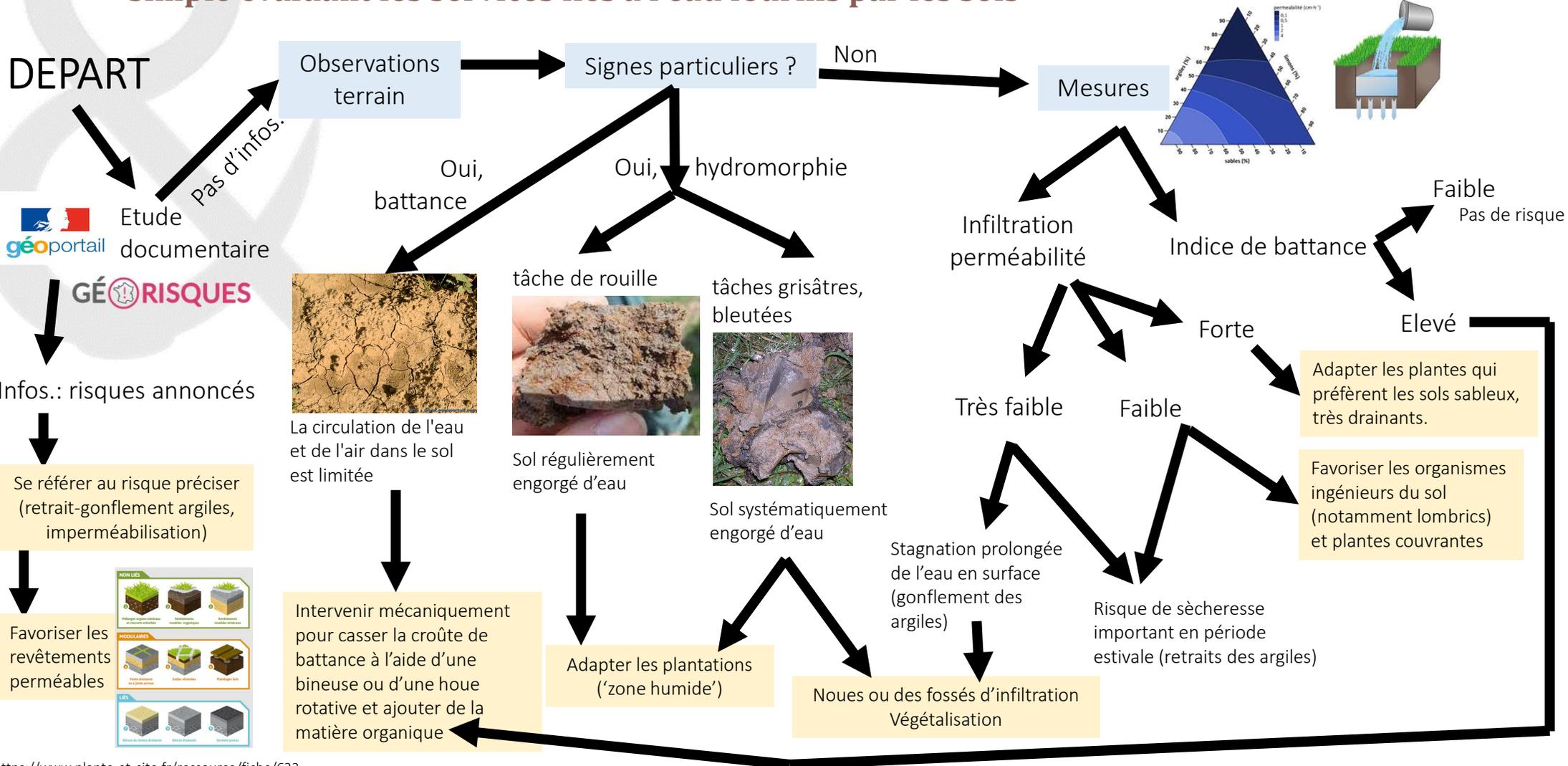
Test	Essais à la bêche	Essais Porchet et essai double anneau	Essais Matsuo	Essais Nasberg/Lefranc
Dépenses spécifiques	Réalisation jusqu'à 5 tests : forfait de 250 € HT	Réalisation de 1 à 3 tests : forfait de 400 € HT	<ul style="list-style-type: none">• Location tractopelle : 600 € HT/jour• Location citerne à eau : 500 € HT/jour (jusqu'à 5 m³)• Réalisation de 1 à 3 tests : forfait de 400 € HT	<ul style="list-style-type: none">• Mise à disposition matériel : 500 € HT/jour• Réalisation de 1 forage : 100 € HT• Réalisation de 1 test : 200 € HT
Temps d'intervention	1 à 3 heures	5 à 8 heures	1 à 2 jours	1 jour

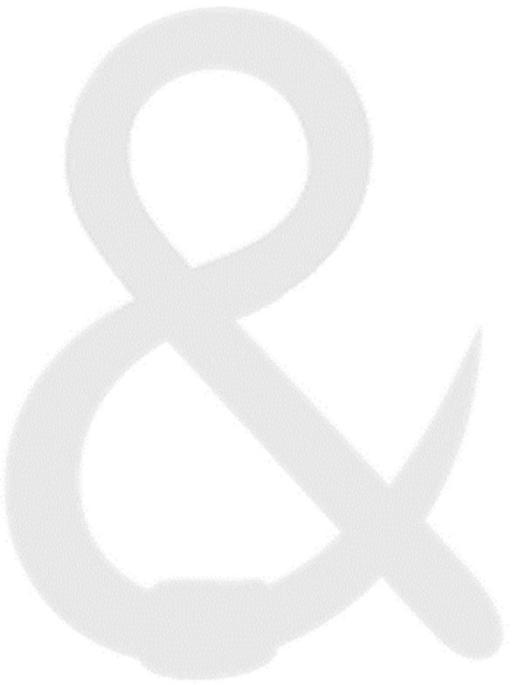
Tableau 2 : Ordre de grandeurs des coûts moyens des essais (valeur 2019) hors temps passé opérateur pour suivi chantier et déplacement.

https://www.graie.org/graie/graiedoc/reseaux/pluvial/TA_FreinsAvantages/capacite_infiltration_sept20VF.pdf

II.2. Présentation d'un outil d'aide à la décision

simple évaluant les services liés à l'eau fournis par les sols





Partie 3

Retours d'expériences : références de projets

III.1. Projet TrameBioSol : Caractérisation des sols à l'échelle de la Métropole du Grand Nancy pour le développement d'une trame brune



TrameBioSol est un projet innovant, pluridisciplinaire et de **participation citoyenne** ayant pour objectif la préservation d'une trame brune constituée le long d'un parcours traversant 5 communes de la Métropole du Grand Nancy, permettant la reconnaissance écologique de sols fonctionnels.

SOL = PATRIMOINE FONCTIONNEL

III.1. Projet TrameBioSol : Caractérisation des sols à l'échelle de la Métropole du Grand Nancy pour le développement d'une trame brune



Des **diagnostics et des inventaires sur 15 milieux différents**:

- De qualité des sols : étudier l'état et le fonctionnement des sols à différents endroits du parcours ;
- De la faune du sol : diagnostiquer cette biodiversité trop peu connue et prise en compte ;
- De la flore : cartographier les différentes essences florales, arbustives et arborées se développant tout au long de cette trame ;

III.1. Projet TrameBioSol : Caractérisation des sols à l'échelle de la Métropole du Grand Nancy pour le développement d'une trame brune



Des **actions de restauration** : suite à ces diagnostics et inventaires, des recommandations de gestion et d'usage sont préconisées, puis mises en place sur les sites concernés. A ce titre, un **outil d'aide à la décision à l'attention des collectivités territoriales** sera créé, afin d'indiquer la marche à suivre pour une intégration des « sols » dans la constitution des TVBB ;

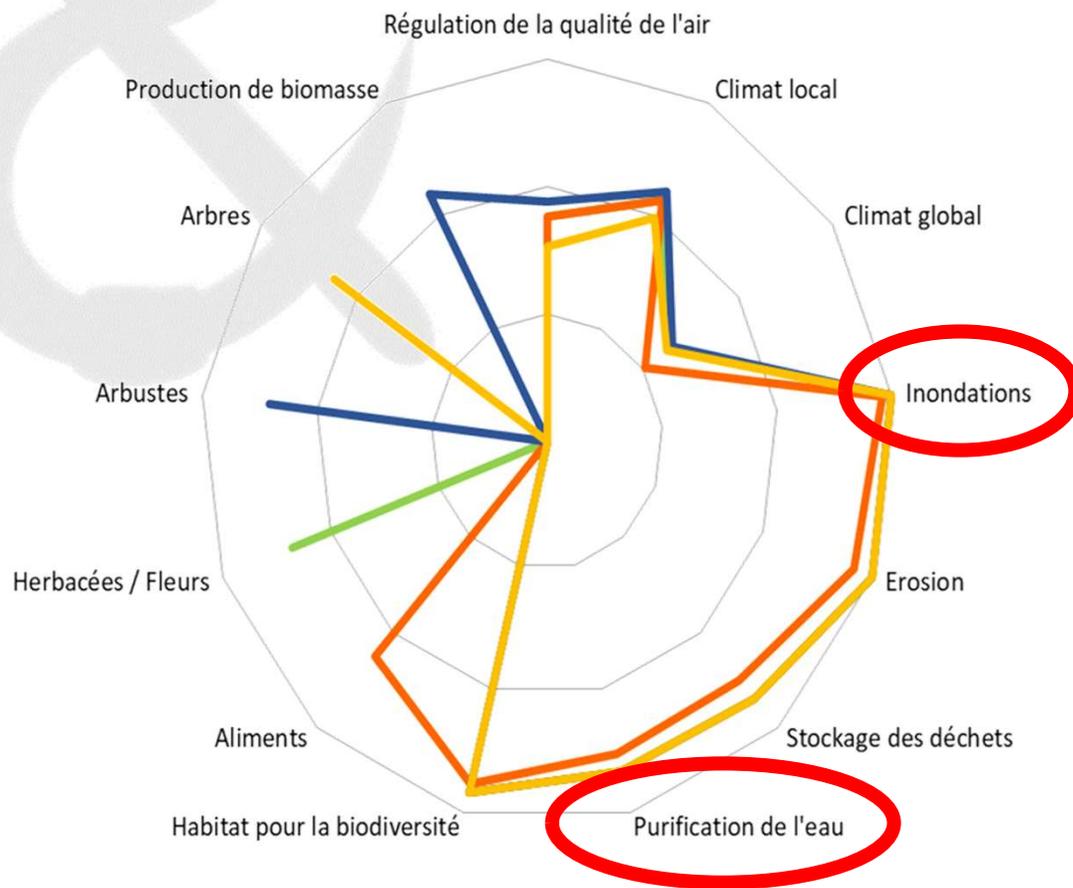
- **L'Atlas de la biodiversité communale**;
- Les **documents d'urbanisme**, ceux existants (SRCE, SRADDET) et ceux à créer (PLUi de la Métropole du Grand Nancy par exemple). L'objectif est d'engager la réflexion d'une prise en compte des sols et de leur biodiversité aux échelles du site mais également de la planification territoriale pour une protection et restauration des continuités écologiques.

III.2. Parc Sainte Marie: Diagnostic de qualité des sols d'un parc urbain pour répondre à une attente de diminution de l'arrosage



Réaliser une étude de la qualité agronomique des sols d'un parc urbain, afin de répondre aux questionnements de la direction Parcs et Jardins et de leur formuler des recommandations de gestion adaptées aux caractéristiques bio-physico-chimiques des sols en place.

III.2. Parc Sainte Marie: Diagnostic de qualité des sols d'un parc urbain pour répondre à une attente de diminution de l'arrosage



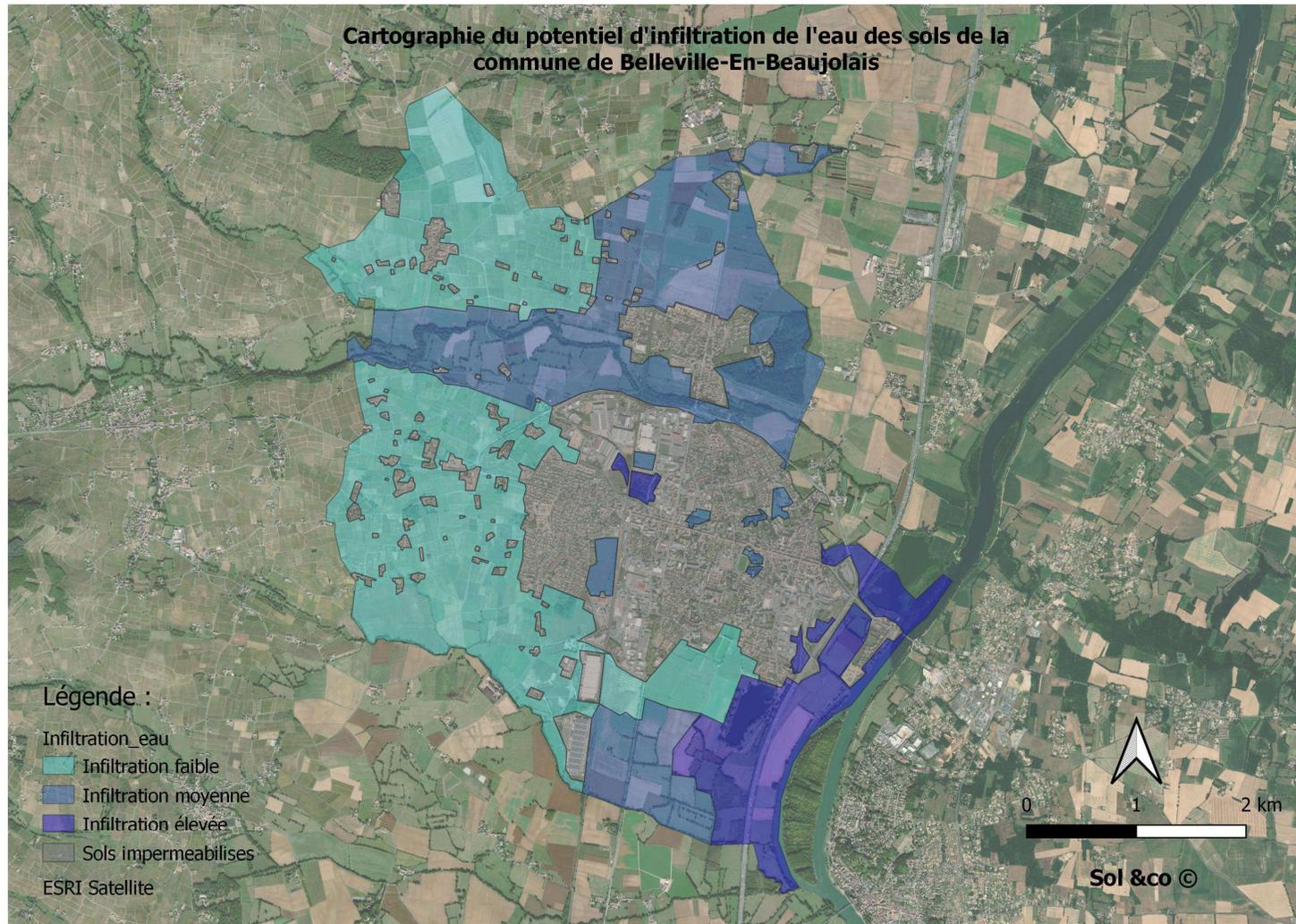
Gestion de l'arrosage

Texture des sols : limoneuse dite « équilibrée » : 25% argiles, 47% limons, 29% sables

Rétention d'eau correcte ; Infiltration de l'eau optimale

→ **Arrosage fortement dépendant des essences plantées**

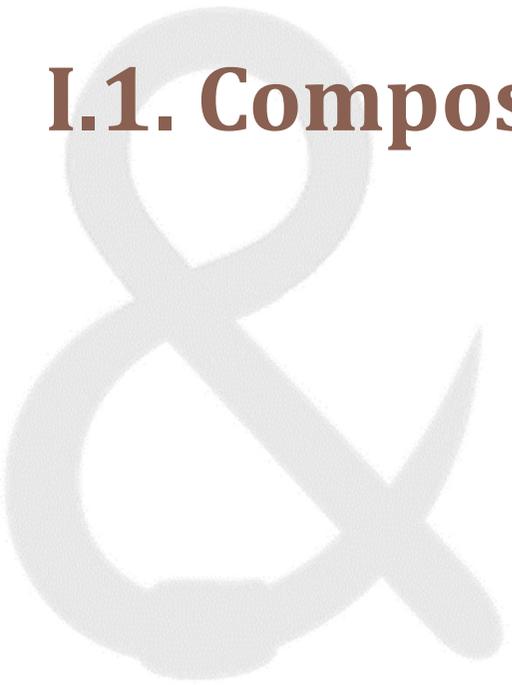
III.3. Cartographie de l'infiltration de l'eau



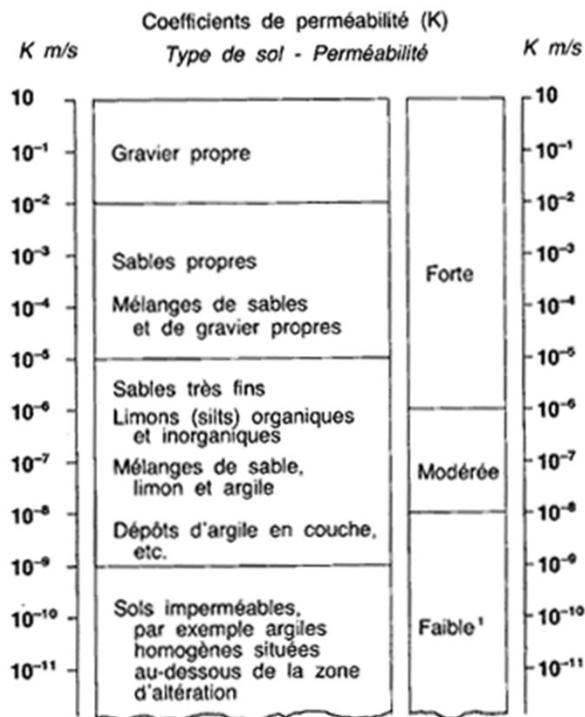
INDICATEURS

- Type de sol (texture)
- Topographie
- Couverture végétale

I.1. Composition et fonctionnement des sols



I.1. Composition et fonctionnement des sols



perméabilité moyenne de sols de textures différentes (cm/heure)

Sable	5,0
Limon sableux	2,5
Limon	1,3
Limon argileux	0,8
Argile silteuse	0,25
Argile	0,05

TABLEAU 15

Classes de perméabilité des sols applicables à l'agriculture et à la conservation

Classes de perméabilité du sol	Taux de perméabilité ¹	
	cm/heure	cm/jour
Très faible	moins de 0,13	moins de 3
Faible	0,13 - 0,3	3 - 12
Modérément faible	0,5 - 2,0	12 - 48
Modérée	2,0 - 6,3	48 - 151
Modérément forte	6,3 - 12,7	151 - 305
Forte	12,7 - 25	305 - 600
Très forte	plus de 25	plus de 600

I.1. Composition et fonctionnement des sols

TABLEAU 17B
Indicateurs visuels de la perméabilité :
texture, comportement physique et couleur du sol

<i>Classe de perméabilité (tableau 15)</i>	<i>Texture et profil pédologique</i>	<i>Comportement physique</i>	<i>Couleur et taches</i>
Perméabilité très faible	Claypans, argile lourde, ou en présence d'un substrat très peu perméable	Le sol se fissure beaucoup en séchant, à l'exception des couches durcies qui ne se fissurent, ni ne se fracturent.	Généralement tacheté
	Hardpan distinct du claypan	Les hardpans associés à cette classe consistent souvent en couches très durcies de sable ou de sable/gravier. Ils sont généralement sonores quand on les frappe avec une bêche.	Très tacheté
Perméabilité faible	Argile ou argile silteuse, claypans, couches modérément durcies	Retrait et fissuration sont moins prononcés que dans la classe des sols très peu perméables.	Les taches sont moyennement importantes.
	Limon (silt), couche dure enrichie en limon (silt)		Des taches moyennement importantes et une couleur grisâtre sont des signes caractéristiques de ce type de structure.
Perméabilité modérément faible	Horizons à texture modérément fine montrant une petite quantité de granulation ou une légère dispersion des particules	Le retrait n'est pas très prononcé et les fissures ne sont ni larges ni nombreuses.	Taches en quantité modérée, mais la couleur est plus vive que celle de la classe peu perméable.
Perméabilité modérée	Textures modérément fines, légèrement plastiques à l'état mouillé et modérément dures à l'état sec		En général, taches en faible quantité
Perméabilité modérément forte	Sols de texture modérément fine à moyenne		Taches occasionnelles. La couleur est généralement d'un jaune modérément vif.
Perméabilité forte	Sols de texture moyenne à modérément grossière		Pas de taches, à moins que la nappe phréatique ne soit élevée. Couleur généralement très vive. Teneur en matière organique habituellement modérée ou faible.
Perméabilité très forte	Sols graveleux ou de texture grossière		La couleur est vive, à moins que la nappe phréatique ne soit élevée.