

FORMATION BÂTIMENT DURABLE

GESTION DES EAUX PLUVIALES SUR LA PARCELLE ET DANS L'ESPACE PUBLIC

PRINTEMPS 2024

Principes d'hydrologie urbaine

Stéphane TRUONG





- ▶ Comprendre de manière simplifiée les éléments d'hydrologie intervenants en gestion des eaux pluviales en milieu urbain
- ▶ Intégrer ces éléments dans la conception des aménagements de gestion intégrée des eaux pluviales
- ▶ Comprendre les paramètres intervenant dans les méthodes de dimensionnement



ÉLÉMENTS D'HYDROLOGIE

PLUVIOMÉTRIE

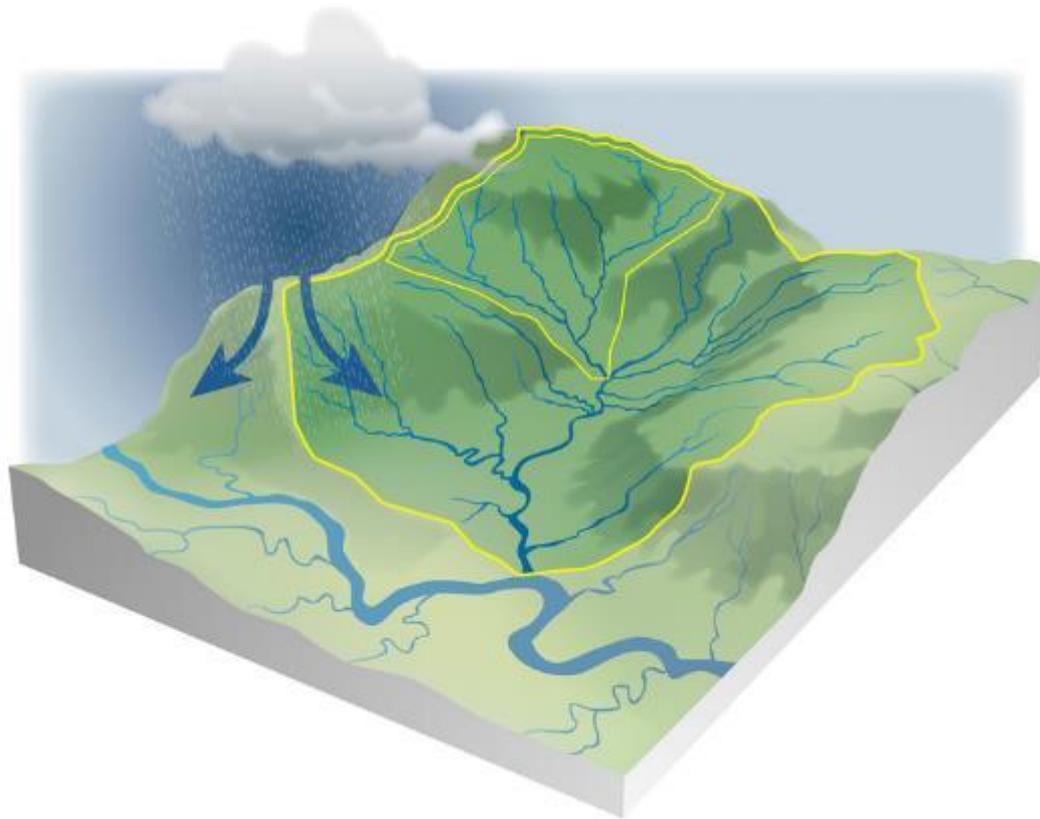
RUISSELLEMENT

INFILTRATION



Surface définie par l'ensemble des eaux tombant sur cette surface et qui convergent vers un même point de sortie appelé exutoire

- ▶ Défini par la topographie (milieu naturel) ET le réseau d'égouttage (milieu urbain)

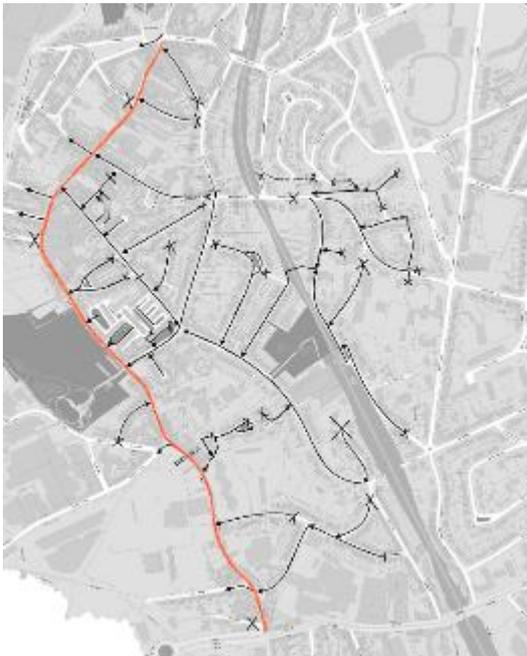


Source : Bassin versant de la Gartempe



Exemple : chaussée de Neerstalle

- ▶ Bassin anthropique



Départ



Sens d'écoulement



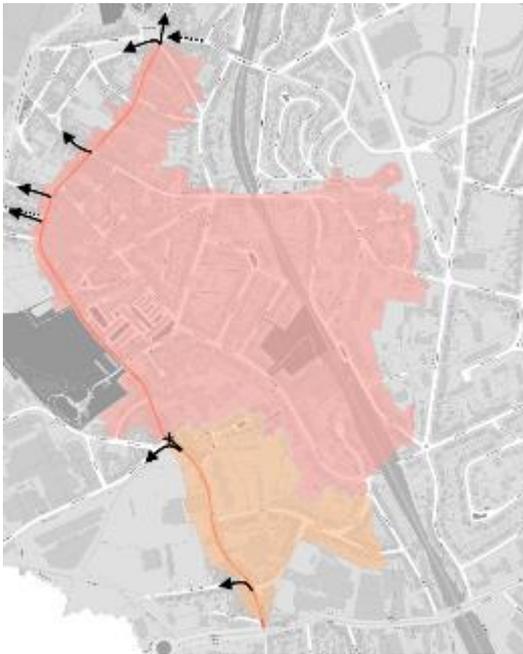
Changement de pente

Source : écorce



Exemple : chaussée de Neerstalle

- ▶ Bassin anthropique



Départ



Sens d'écoulement



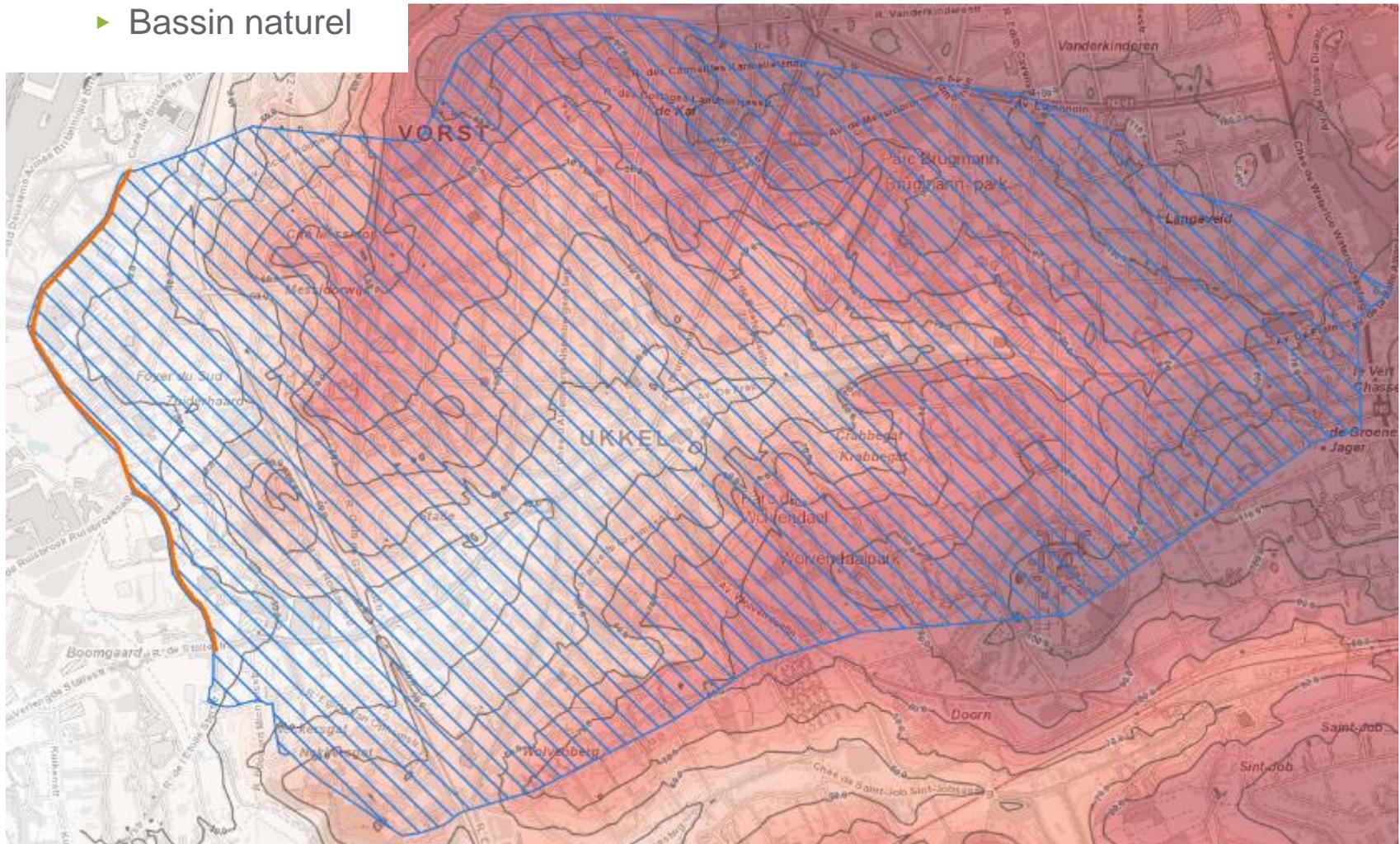
Changement de pente

Source : écorce



Exemple : chaussée de Neerstalle

- ▶ Bassin naturel



BASSIN VERSANT DU PROJET

Exemple : chaussée de Neerstalle

- Identification des sources de ruissellement des maisons avoisinantes



-  TD raccordés à l'égout
-  TD raccordés à la voirie

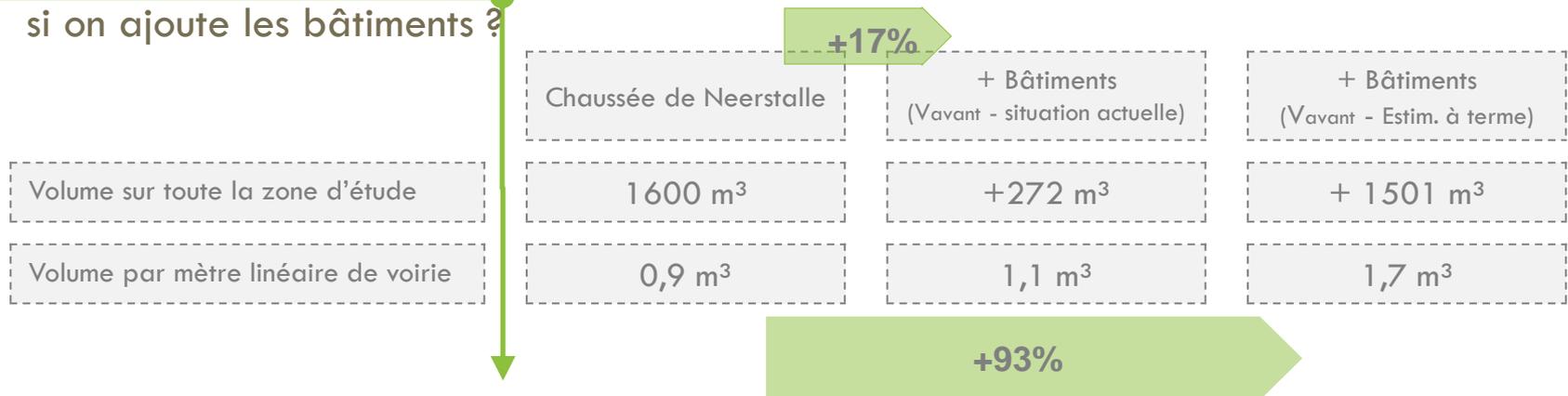


Exemple : chaussée de Neerstalle

- Contribution des maisons avoisinantes

COMBIEN

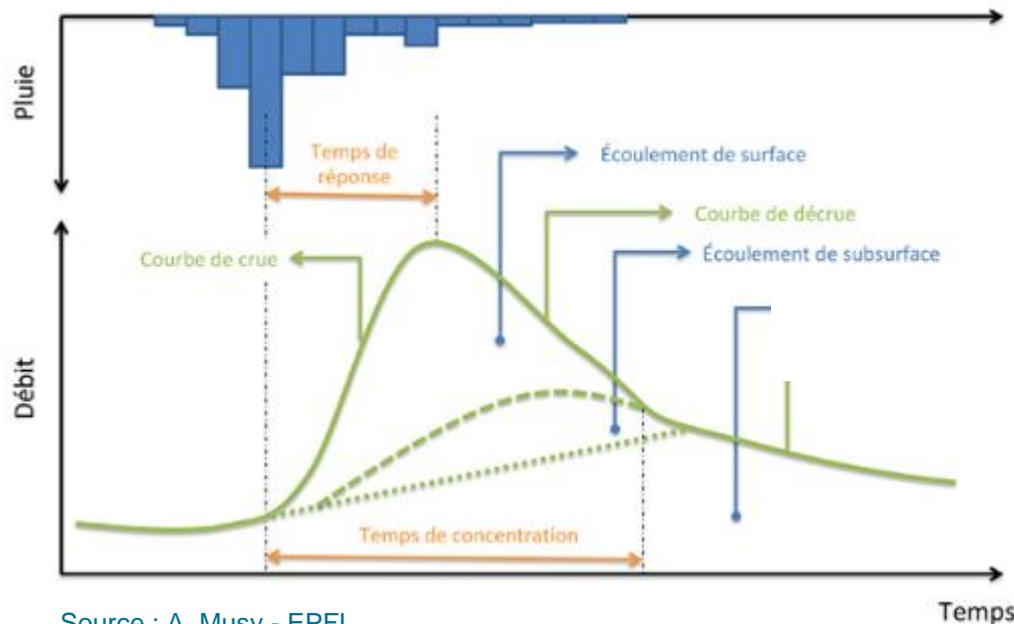
si on ajoute les bâtiments ?



TEMPS CARACTÉRISTIQUES D'UN BASSIN VERSANT

Temps caractéristiques :

- ▶ Temps de réponse : intervalle de temps entre le centre de gravité de la pluie nette et celui du pic de crue
- ▶ Temps de concentration : temps moyen nécessaire à une goutte d'eau pour se déplacer depuis le point le plus éloigné « hydrologiquement » jusqu'à l'exutoire. On peut estimer t_c en mesurant la durée comprise entre la fin de la pluie nette et la fin du ruissellement direct (i.e. fin de l'écoulement de surface).



Source : A. Musy - EPFL

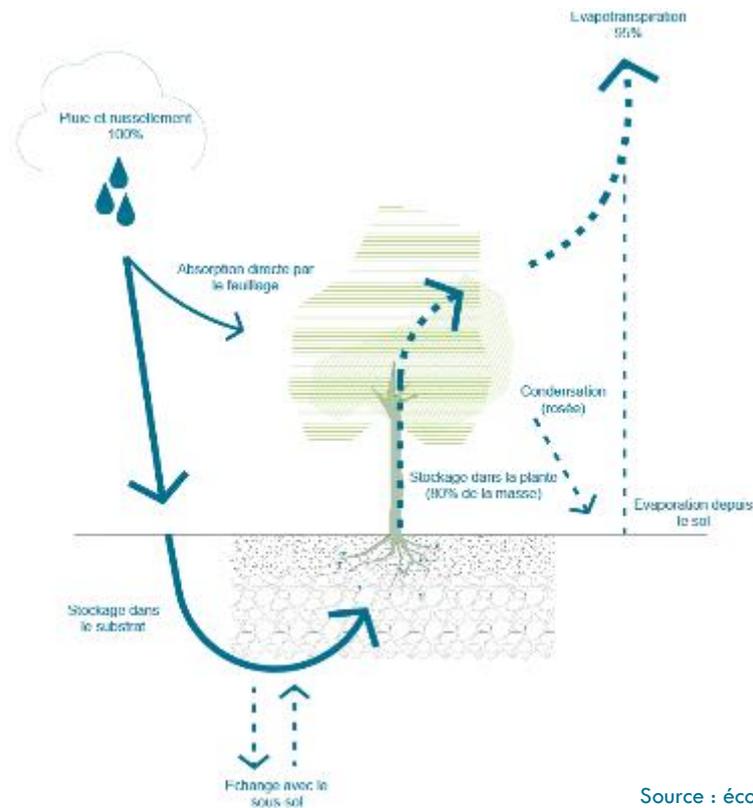
Ces temps dépendent des caractéristiques du BV :

- ▶ forme,
 - ▶ taille
 - ▶ pentes
 - ▶ types de surfaces
- mais aussi du type d'évènement pluvieux



Les différentes composantes du bilan hydrologique d'une pluie tombant sur une surface sont : le ruissellement, l'infiltration et l'évapotranspiration

⇒ L'objectif est de minimiser le ruissellement et maximiser l'infiltration et l'évapotranspiration



Source : écorce



ÉLÉMENTS D'HYDROLOGIE

PLUVIOMÉTRIE

RUISSELLEMENT

INFILTRATION

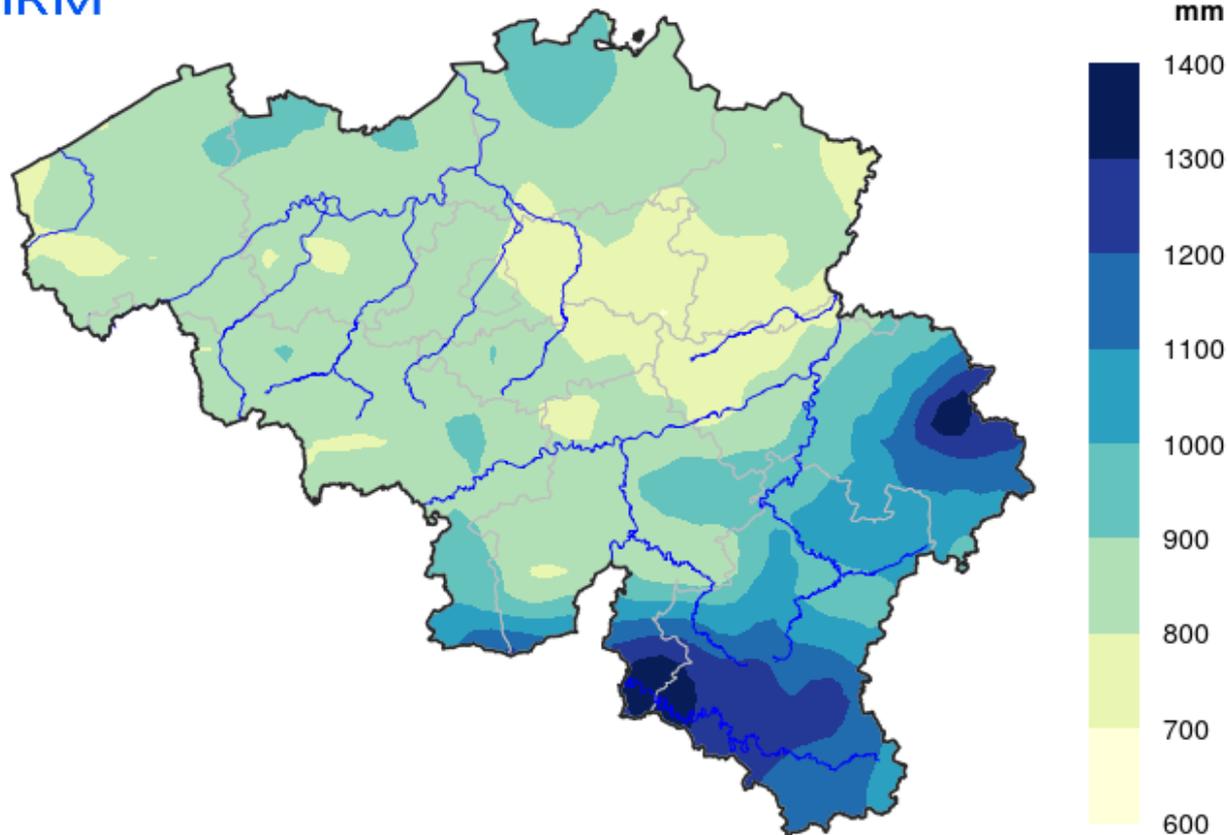


800 à 850 mm/an



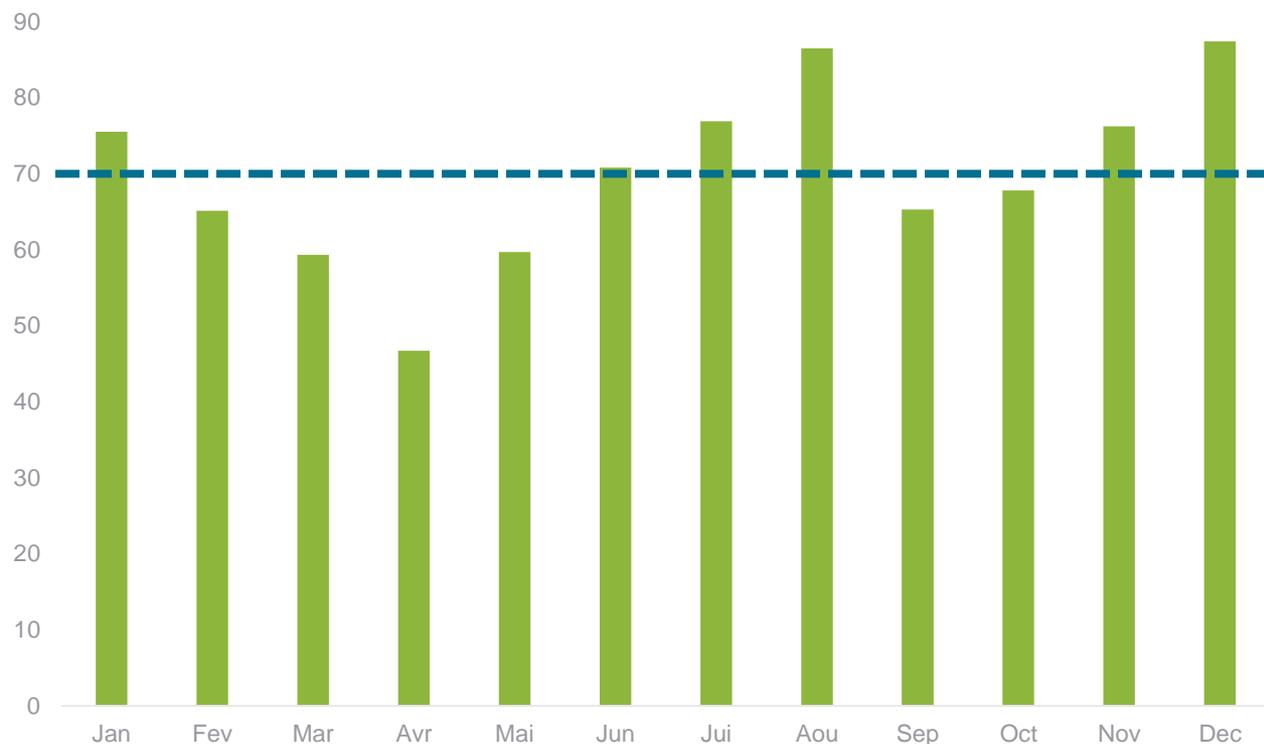
Quantités de précipitations annuelles moyennes

Normales 1991-2020



Précipitations : ± 70 mm/mois

- Pas de cycle saisonnier bien défini. Globalement, la période froide de l'année (novembre à mars) est à peine plus arrosée que la période chaude (mai à septembre).

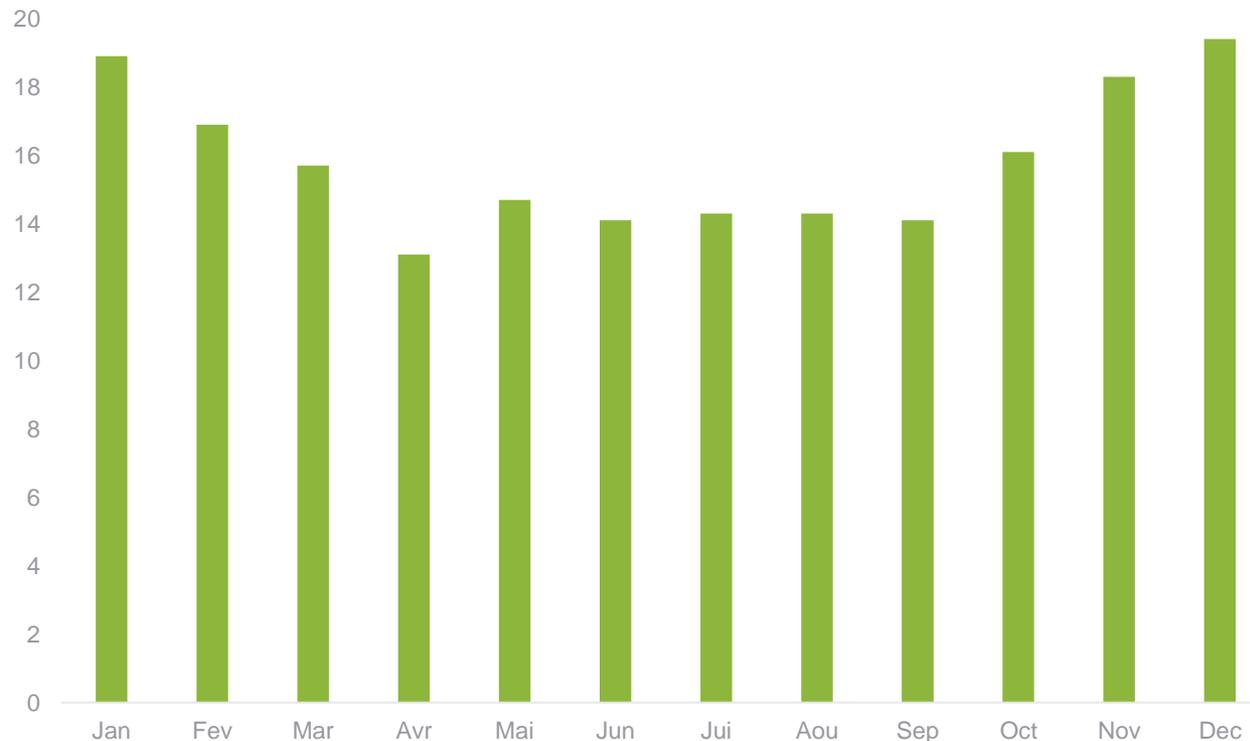


Précipitations mensuelles moyennes à la station d'Uccle
(Source des données : IRM – Normales 1991 - 2020)



Nombre de jours de précipitations

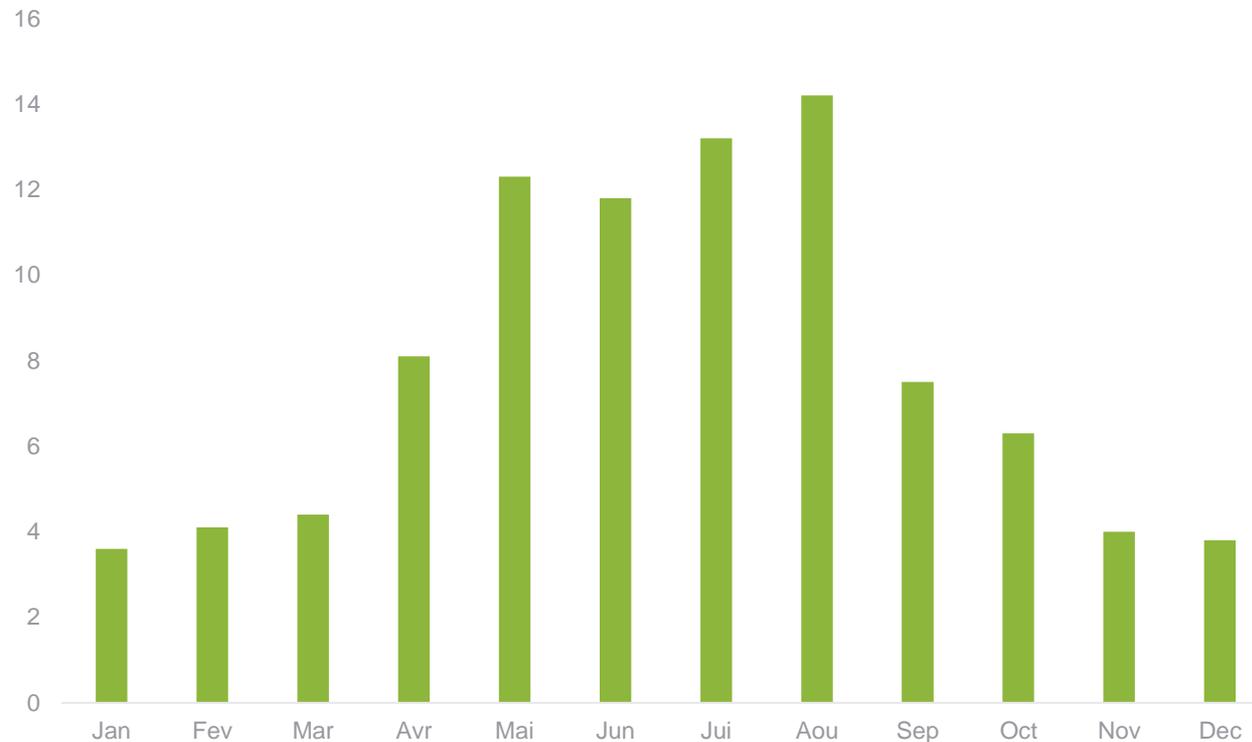
- Globalement, la période froide de l'année (novembre à mars) a une fréquence de jours de précipitations supérieure à la période chaude (mai à septembre).



Jours de précipitations mensuels moyens à la station d'Uccle
(Source des données : IRM – Normales 1991 - 2020)



Nombre de jours avec orage



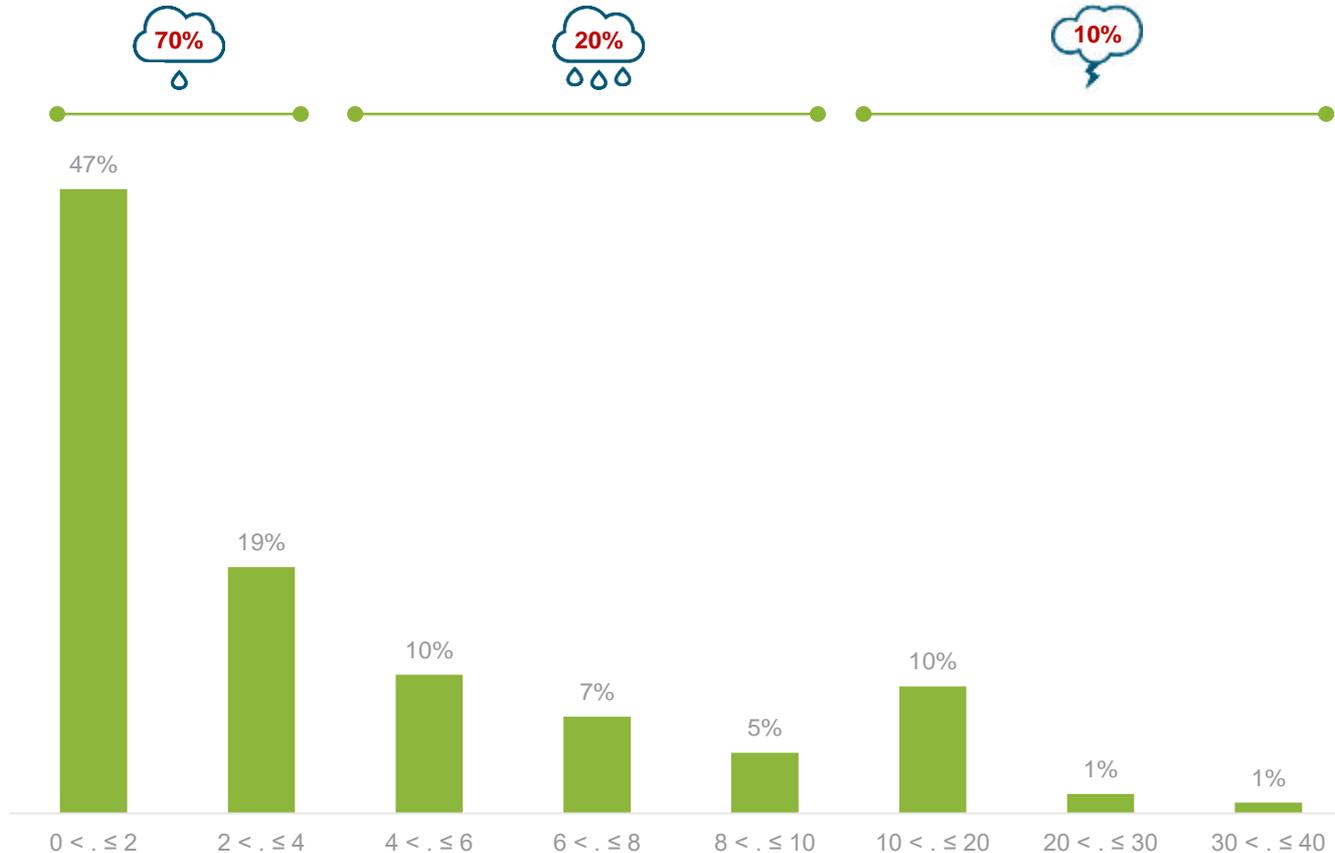
Nombre de jours moyens avec orage à la station d'Uccle
(Source des données : IRM – Normales 1991 - 2020)



18 RÉPARTITION MOYENNES JOURNALIÈRES

Evènements pluvieux

- ▶ Il pleut en moyenne 190 jours/an (50% du temps) répartis comme suit :

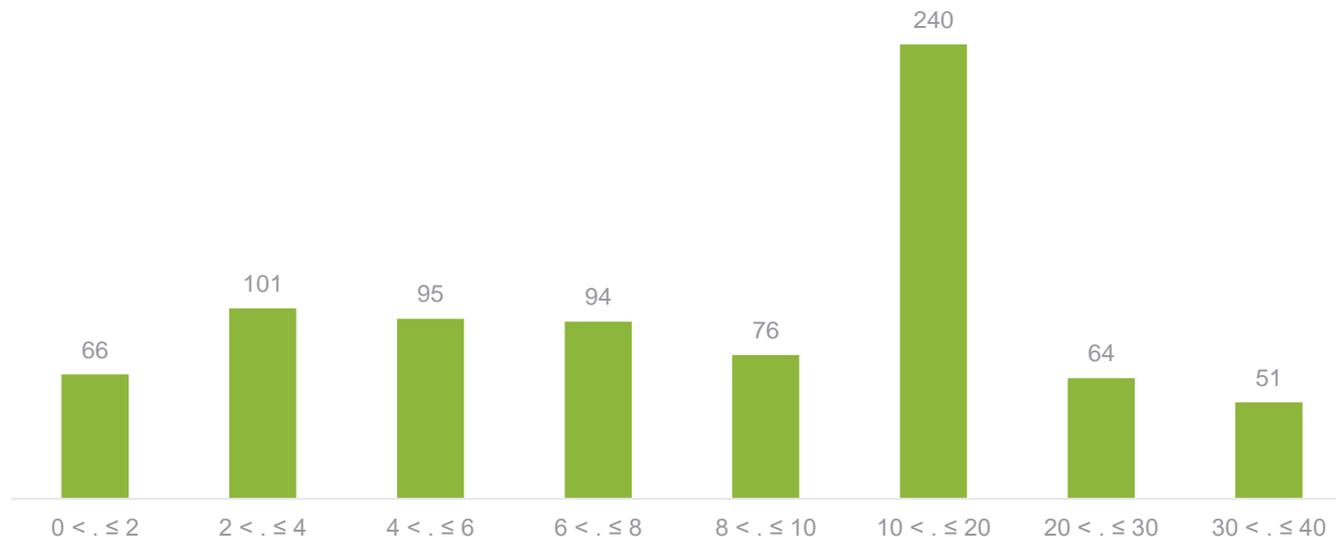


Répartition des précipitations journalières moyennes à la station d'Uccle par type d'évènement pluvieux
(Source des données : www.flowbru.be – Moyennes 2012 - 2021)



Evènements pluvieux

- ▶ Les différentes classes d'évènements engendrent annuellement :



Quantités annuelles moyennes précipitées (mm) à la station d'Enghien par type d'évènement pluvieux
(Source des données : www.flowbru.be – Moyennes 2012 - 2021)



RÉPARTITION DE LA GESTION

La gestion dépend du type d'évènement pluvieux



Un évènement pluvieux est caractérisé par 3 paramètres (QDF) :

- ▶ La **Q**uantité de pluie précipitée
- ▶ La **D**urée de l'évènement pluvieux
- ▶ La **F**réquence (= période de retour = temps de retour (TR))

Durée	Période de retour (années)											
	2	5	10	15	20	25	30	40	50	75	100	200
10 min	7,7	11	13,5	15	16,1	17	17,8	19	19,9	21,8	23,1	26,6
20 min	11,1	15,9	19,5	21,7	23,3	24,6	25,7	27,5	28,9	31,5	33,5	38,5
30 min	13,1	19	23,4	26,1	28,1	29,6	31	33,1	34,8	38	40,4	46,5
1 h	16,2	22,7	27,6	30,6	32,7	34,5	35,9	38,2	40,1	43,6	46,2	52,8
2 h	19,4	26,8	32,3	35,6	38,1	40	41,6	44,2	46,3	50,2	53,1	60,5
3 h	21,6	29,7	35,7	39,3	42	44,1	45,9	48,7	51	55,3	58,4	66,5
6 h	26,1	34,4	40,5	44,2	46,9	49,1	50,9	53,8	56,1	60,4	63,7	71,8
12 h	31,8	41,7	49,1	53,5	56,7	59,3	61,4	64,9	67,6	72,8	76,6	86,2
1 d	39	50,5	58,7	63,6	67,2	70	72,3	76	78,9	84,4	88,4	98,5
2 d	49,6	63,4	73,1	78,8	82,8	86	88,6	92,8	96,1	102,2	106,6	117,5
3 d	52,9	67,6	77,8	83,7	87,9	91,2	93,9	98,2	101,6	107,7	112,2	123,1
4 d	57,6	73,3	84	90,2	94,6	98,1	100,9	105,3	108,8	115,2	119,7	130,9
5 d	65,4	82,4	93,9	100,6	105,3	108,9	111,9	116,6	120,3	127	131,8	143,6
7 d	75,4	93,8	106,2	113,3	118,2	122,1	125,2	130,2	134	141	146	158,1
10 d	89,8	110,7	124,6	132,4	137,9	142,1	145,6	151	155,2	162,8	168,2	181,2
15 d	108,8	133,2	149,1	158	164,3	169,1	172,9	179	183,7	192,2	198,1	212,4
20 d	126,7	155,2	173,6	183,9	191	196,4	200,9	207,8	213,1	222,6	229,3	245,2
25 d	135,2	165,5	184,9	195,7	203,1	208,8	213,4	220,6	226,1	236	242,9	259,3
30 d	157,9	190,3	211	222,4	230,3	236,3	241,2	248,7	254,5	264,9	272,1	289,2

Statistiques des précipitations extrêmes – Commune de Uccle

Niveau de retour estimé pour une durée de précipitations [de 10 minutes à 30 jours]

et une période de retour [de 2 à 200 années] - Unités : mm

Source : IRM

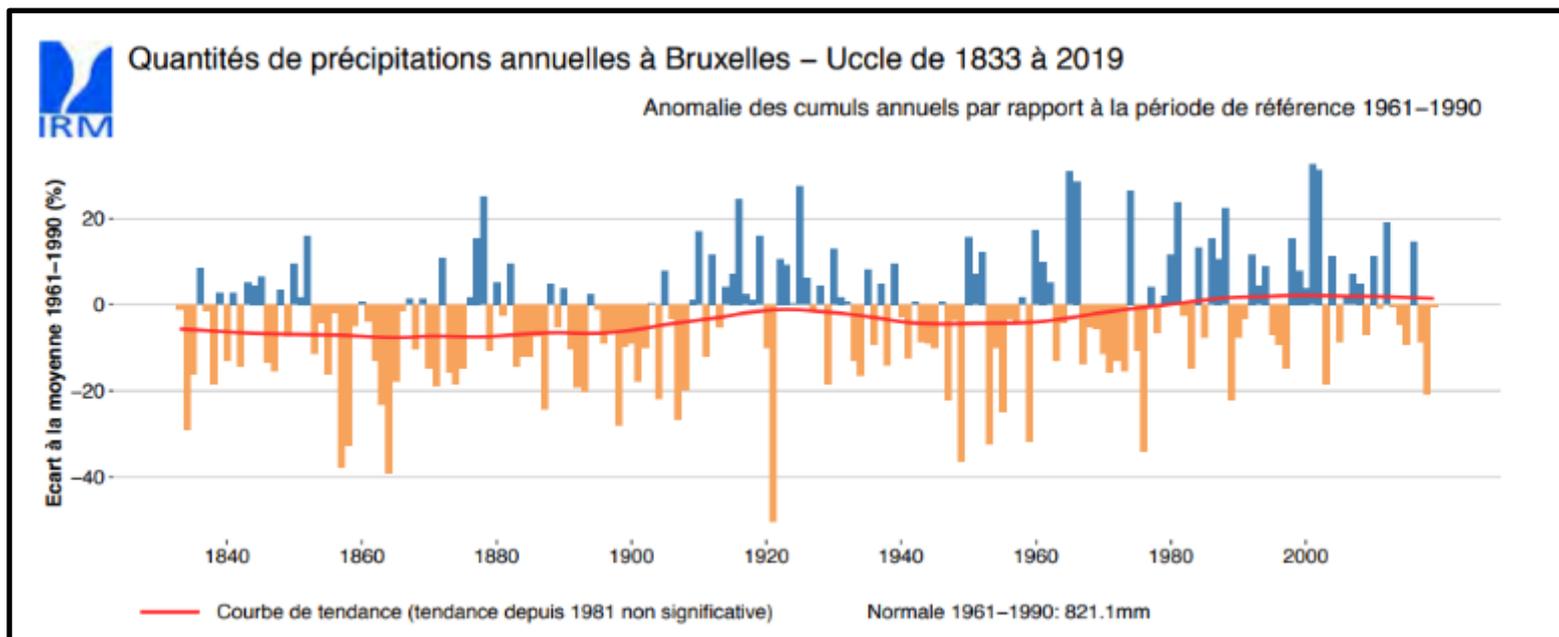


PRÉCIPITATIONS EXTRÊMES

Comment sont calculées les courbes (QDF) pour une localisation donnée ?

- ▶ Modèle 1 : sur la base d'une longue série de mesures de précipitations

⇒ **Exemple : station de Uccle, mesure journalière depuis 1833 !**



Evolution de la quantité annuelle de précipitation sur la période 1833-2019. anomalies exprimées en pourcentage

Source : IRM



Comment sont calculées les courbes (QDF) pour une localisation donnée ?

- ▶ Modèle 1 : sur la base d'une longue série de mesures de précipitations

Exemple : station de Uccle, mesure journalière depuis 1833 !

⇒ **Avantage** : données plus précises lorsqu'une station météo est proche

- ▶ Modèle 2 : sur base de série de précipitations moins longue ET :

- des modèles d'extrapolation temporelle
- des modèles d'extrapolation spatiale

⇒ **Avantage 1** : disponibilité des données sur toute la Belgique

⇒ **Avantage 2** : homogénéité à l'échelle du pays

⇒ **Avantage 3** : intégration du changement climatique possible



PRÉCIPITATIONS EXTRÊMES

Comparaison de deux tableaux (QDF) selon 2 modèles

		M2	M1	M1/M2															
		2			5			10			15			20			25		
Durée	10 min	7,7	8,1	105%	11	10,9	99%	13,5	12,8	95%	15	14	93%	16,1	14,8	92%	17	15,4	91%
	20 min	11,1	11	99%	15,9	14,8	93%	19,5	17,5	90%	21,7	19	88%	23,3	20,1	86%	24,6	21	85%
	30 min	13,1	12,8	98%	19	17,3	91%	23,4	20,4	87%	26,1	22,2	85%	28,1	23,5	84%	29,6	24,5	83%
	1 h	16,2	16,2	100%	22,7	21,8	96%	27,6	25,7	93%	30,6	28	92%	32,7	29,6	91%	34,5	30,9	90%
	2 h	19,4	19,9	103%	26,8	26,8	100%	32,3	31,7	98%	35,6	34,5	97%	38,1	36,5	96%	40	38	95%
	3 h	21,6	22,3	103%	29,7	30,1	101%	35,7	35,5	99%	39,3	38,7	98%	42	40,9	97%	44,1	42,7	97%
	6 h	26,1	27	103%	34,4	36,4	106%	40,5	42,9	106%	44,2	46,7	106%	46,9	49,5	106%	49,1	51,6	105%
	12 h	31,8	32,5	102%	41,7	43,8	105%	49,1	51,7	105%	53,5	56,2	105%	56,7	59,5	105%	59,3	62,1	105%
	1 d	39	39	100%	50,5	52,6	104%	58,7	62	106%	63,6	67,5	106%	67,2	71,4	106%	70	74,5	106%
	2 d	49,6	46,7	94%	63,4	63	99%	73,1	74,4	102%	78,8	80,9	103%	82,8	85,6	103%	86	89,3	104%
3 d	52,9	51,9	98%	67,6	70,1	104%	77,8	82,7	106%	83,7	90	108%	87,9	95,2	108%	91,2	99,3	109%	

		M2	M1	M1/M2	M2	M1	M1/M2	M2	M1	M1/M2	M2	M1	M1/M2	M2	M1	M1/M2	M2	M1	M1/M2
		30			40			50			75			100			200		
Durée	10 min	17,8	15,9	89%	19	16,7	88%	19,9	17,4	87%	21,8	18,6	85%	23,1	19,4	84%	26,6	21,6	81%
	20 min	25,7	21,7	84%	27,5	22,8	83%	28,9	23,7	82%	31,5	25,3	80%	33,5	26,5	79%	38,5	29,4	76%
	30 min	31	25,3	82%	33,1	26,6	80%	34,8	27,7	80%	38	29,6	78%	40,4	30,9	76%	46,5	34,3	74%
	1 h	35,9	31,9	89%	38,2	33,6	88%	40,1	34,9	87%	43,6	37,3	86%	46,2	39	84%	52,8	43,3	82%
	2 h	41,6	39,3	94%	44,2	41,4	94%	46,3	43	93%	50,2	45,9	91%	53,1	48	90%	60,5	53,2	88%
	3 h	45,9	44,1	96%	48,7	46,4	95%	51	48,2	95%	55,3	51,5	93%	58,4	53,9	92%	66,5	59,7	90%
	6 h	50,9	53,3	105%	53,8	56,1	104%	56,1	58,2	104%	60,4	62,2	103%	63,7	65,1	102%	71,8	72,2	101%
	12 h	61,4	64,1	104%	64,9	67,5	104%	67,6	70,1	104%	72,8	74,9	103%	76,6	78,4	102%	86,2	86,9	101%
	1 d	72,3	77	107%	76	81	107%	78,9	84,1	107%	84,4	89,9	107%	88,4	94,1	106%	98,5	104,3	106%
	2 d	88,6	92,3	104%	92,8	97,1	105%	96,1	100,9	105%	102,2	107,8	105%	106,6	112,8	106%	117,5	125,1	106%
3 d	93,9	102,6	109%	98,2	108	110%	101,6	112,1	110%	107,7	119,8	111%	112,2	125,4	112%	123,1	139	113%	



Comment sont calculées les courbes (QDF) pour une localisation donnée ?

- ▶ Modèle 1 : sur la base d'une longue série de mesures de précipitations

Exemple : station de Uccle, mesure journalière depuis 1833 !

⇒ Disponible pour Uccle sur le site de [Bruxelles Environnement](#)

⇒ Demande via formulaire de contact de l'[IRM](#)

- ▶ Modèle 2 : sur base de série de précipitations moins longue ET :

- des modèles d'extrapolation temporelle
- des modèles d'extrapolation spatiale

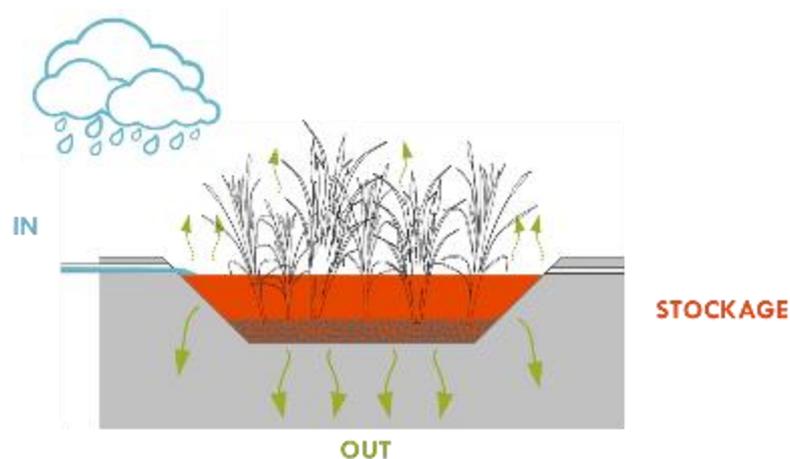
⇒ Données disponibles sur le site de l'[IRM](#) - [Climat dans votre commune](#)



Quelle pluie prendre en compte ?

- ▶ Le TR est fixé par les ambitions
- ▶ Durée de pluie à prendre en compte
 - En théorie = temps de réponse du bassin versant c'est-à-dire l'intervalle de temps entre le centre de gravité de la pluie nette et celui du pic de crue
 - En pratique : utilisation de la méthode des pluies pour déterminer la durée de pluie la plus problématique en fonction des caractéristiques du projet (surface active, perméabilité et surface d'infiltration)

⇒ Voir présentation « Méthodes de dimensionnement »



PRÉCIPITATIONS EXTRÊMES



Ambition régionale

- ▶ sensibilité du territoire bruxellois (densité croissante, urbanisation des zones inondables et disparition des zones humides)
- ▶ infrastructures d'assainissement dimensionnée au début du XXe
- ▶ anticipation de l'évolution des pluies orageuses (changement climatique)
 - ⇒ **Passage d'un TR10 à TR de minimum 20 ans, tant pour l'espace public que l'espace privé à l'échelle du territoire**

Solutions

- ▶ GiEP : Déconnexion de surfaces imperméables ($\pm 13\%$)
- ▶ BO : Augmenter capacités d'accueil du réseau d'égouttage ($\pm 20\%$)
- ▶ Combinaison GiEP + BO

GIEP = réponse écologique et économique en zone urbaine

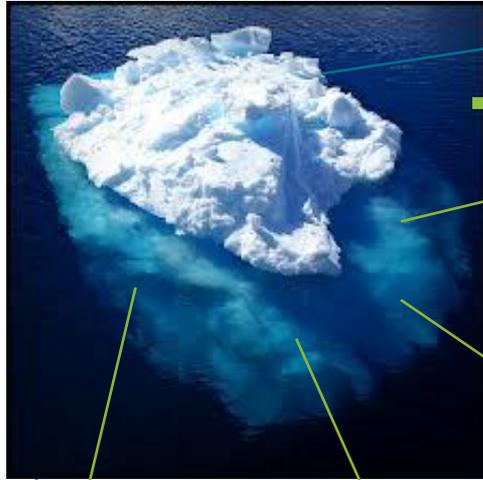
- ▶ Plus avantageux que de redimensionner les réseaux
- ▶ Moins coûteux que la réparation des dégâts liés aux inondations

Choix du temps de retour des pluies

- ⇒ **Neuf/rénovation lourde : TR100**
- ⇒ **Rénovation légère : « le maximum possible »**



PLUVIOMÉTRIE VS ENJEUX



Inondations

Impact biens et personnes
Pollution des milieux naturels



Surcharge du réseau d'égout

- ↳ **Dégradation** d'infrastructures couteuses
- ↳ **Déversements**
→ pollution des cours d'eaux récepteurs

Mélange eaux usées – eaux claires

- ↳ **Dilution** des eaux à épurer
→ rendements épuratoires ▼
- ↳ **Gaspillage** de la ressource « eaux claires »
→ consommation eau potabilisée ↗



Perte de qualité de vie en ville

- ↳ Îlots de chaleur ↗
- ↳ Convivialité ▼
- ↳ Manque d'un élément fondamental équilibrant dans l'environnement urbain

Manque de recharge en eau claire

- ↳ des sols (→ équilibre et qualité des sols en milieux naturels ▼)
- ↳ des nappes (→ conséquences long terme)
- ↳ des cours d'eau naturel ou zones humides (→ biodiversité ▼ en été)



PLUVIOMÉTRIE ET OBJECTIFS

Préserver la quantité et la qualité de la ressource en eau



Pluies
faibles



Pluies
moyennes



Pluies
fortes



Pluies
extrêmes

limiter les risques d'inondation

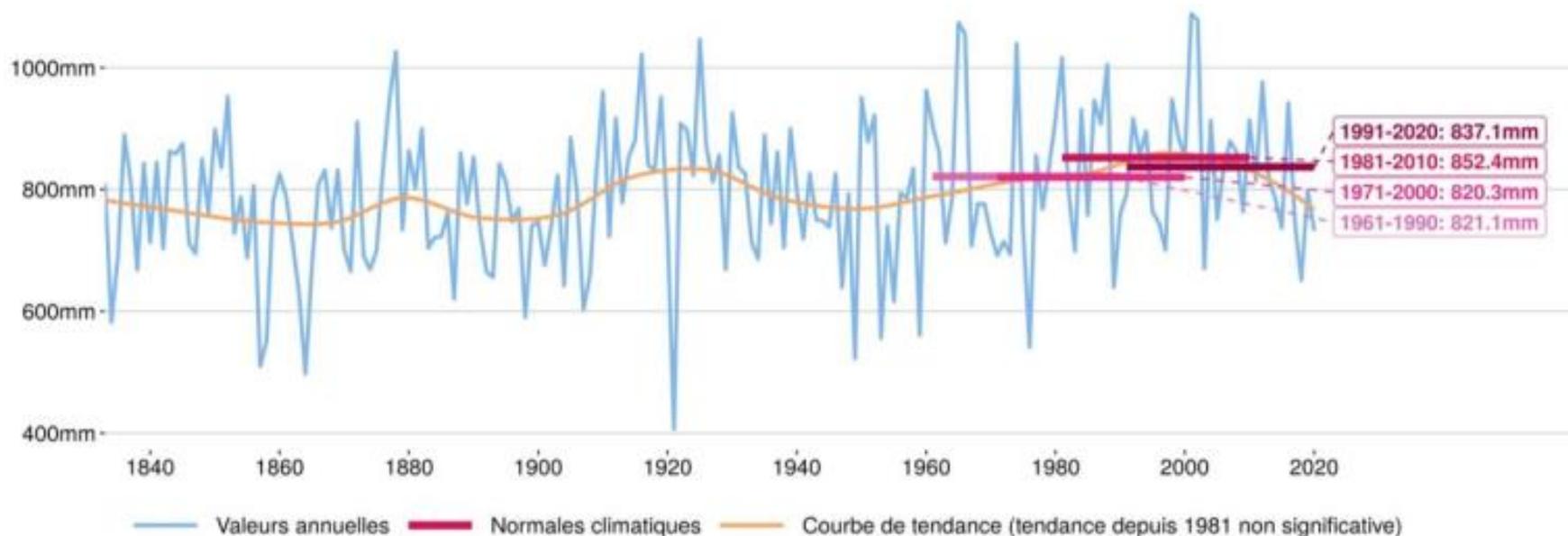
Récupérer pour utiliser dans le bâtiment.
Déconnecter du réseau d'égouttage en favorisant l'infiltration et l'évapotranspiration pour rendre aux milieux naturels une eau de bonne qualité.

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.



Précipitations annuelles

- ▶ Augmentation de 9% du cumul pluviométrique annuel depuis le 19^e siècle liée à un « saut » très significatif vers 1910
- ▶ Hausse moins significative que pour celle des températures



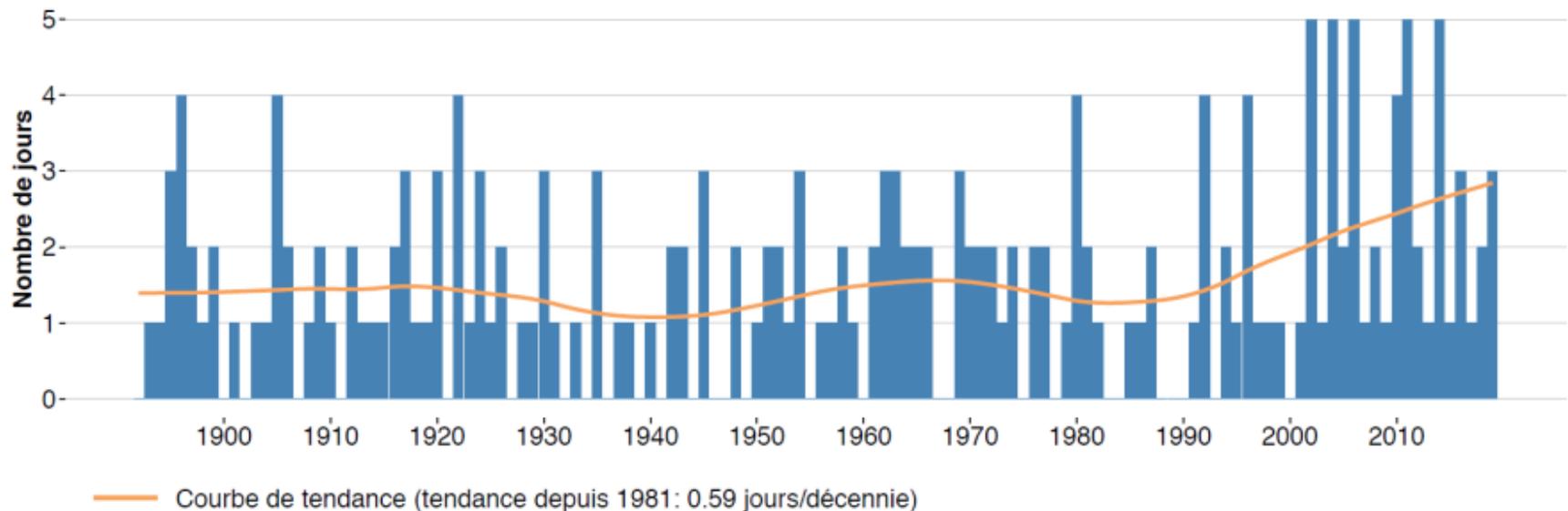
Quantité annuelle de précipitations à Saint-Josse-ten-Noode/Uccle entre 1833 et 2020

Source : IRM repris dans [Évolution passée du climat en Région Bruxelloise – Température et Précipitations](#) (Bruxelles Environnement)



Pluies abondantes d'été

- ▶ Tendence à la hausse depuis 2000
- ▶ 5 valeurs les plus élevées après 2001
- ▶ Augmentation moyenne significative de +0,6 jour de fortes précipitations par décennie depuis 1981



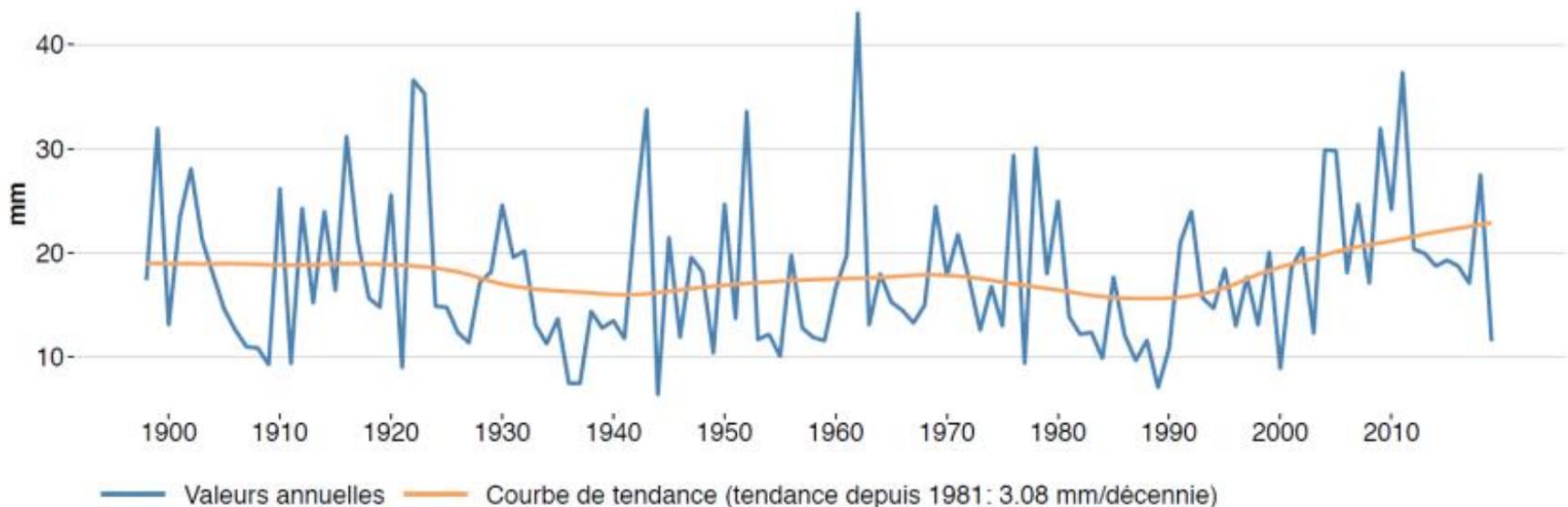
Nombre de jours en été (juin à août) où la quantité de précipitations a dépassé 20 mm à Uccle entre 1892 et 2019

Source : IRM repris dans [Évolution passée du climat en Région Bruxelloise – Température et Précipitations](#) (Bruxelles Environnement)



Précipitations extrêmes annuelles

- ▶ Pas de tendance significative dans les extrêmes annuels sur le long terme
- ▶ Tendance significative à la hausse depuis 1981, avec une augmentation moyenne de +3 mm par décennie



Valeur annuelle la plus élevée de la quantité horaire de précipitations observée à Uccle entre 1898 et 2019

Source : IRM repris dans [Évolution passée du climat en Région Bruxelloise – Température et Précipitations](#) (Bruxelles Environnement)



Evolution des précipitations

- ▶ Un cumul annuel à la hausse au début du XXe sans tendance significative actuellement
- ▶ Vers une distribution moins uniforme des précipitations
 - Des évènements intenses plus fréquents
 - Une augmentation de l'intensité des précipitations extrêmes
 - Des périodes sans pluie plus longues

⇒ **Déconnexion du réseau d'égouttage en limite de capacité**

⇒ **Nécessité de renforcer la recharge des nappes phréatiques**

⇒ **Nécessité de la préservation de la ressource en eau**



ÉLÉMENTS D'HYDROLOGIE

PLUVIOMÉTRIE

RUISSELLEMENT

INFILTRATION



SURFACE ACTIVE (S_a)

Définition

- ▶ Surface fictive qui représente les surfaces qui participent activement au ruissellement des eaux pluviales

Calcul

- ▶ $S_a = \sum CR * S_i$

avec

- CR = coefficient de ruissellement
- S_i = Surface i

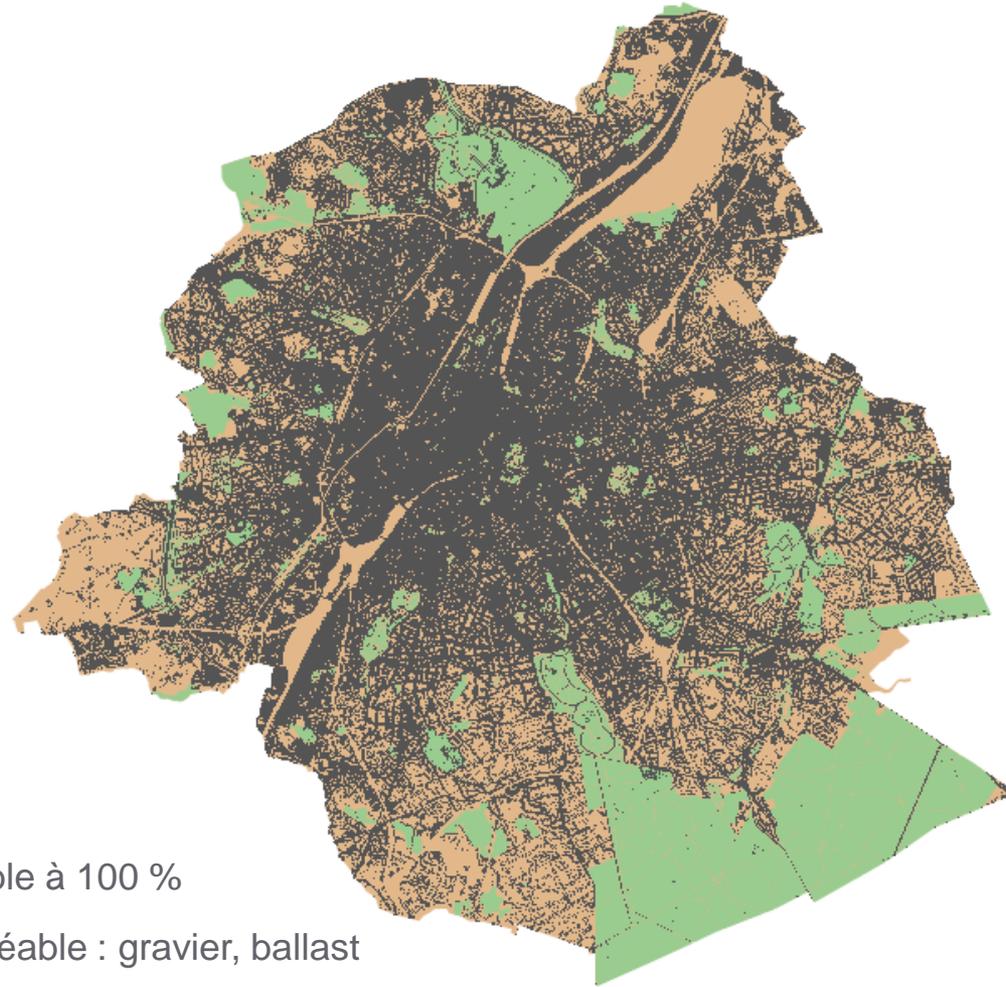
Coefficient de ruissellement

$$\frac{\text{Hauteur d'eau ruisselée}}{\text{Hauteur d'eau précipitée}}$$

⇒ **Dépend du type de surface mais pas que...**



Du type de surface



- Surface imperméable à 100 %
- Surface semi-perméable : gravier, ballast
- Principaux espaces verts de RBC



LES CR DÉPENDENT DE NOMBREUX PARAMÈTRES

De la topographie combinée à « la rugosité » du sol

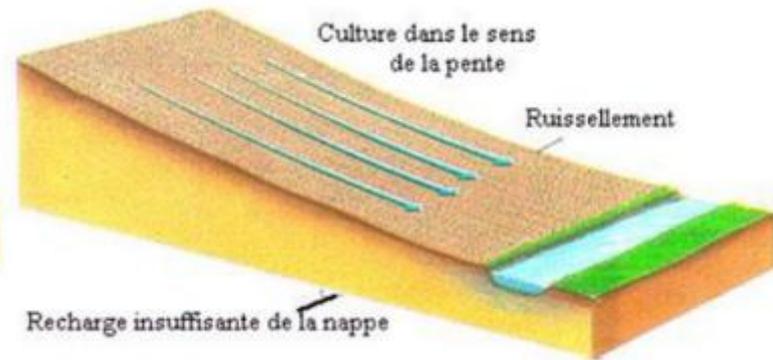
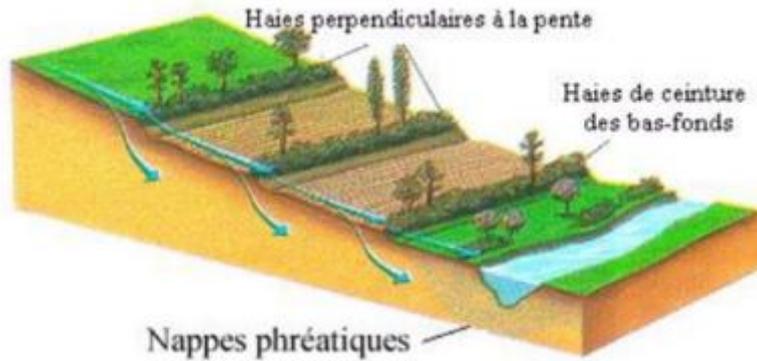


Illustration en milieu rural (Source : ENSEEIHT – 1998)

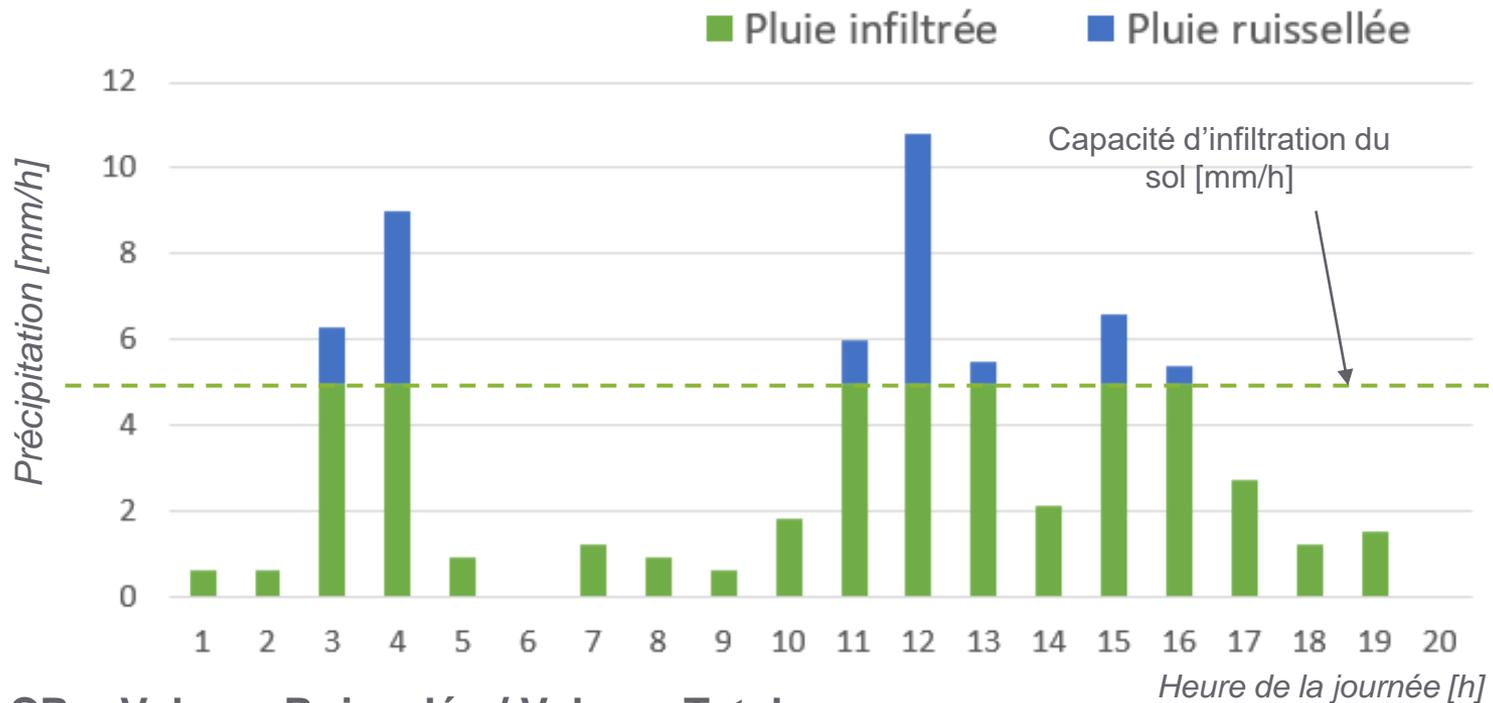


Aménagement en milieu semi-urbain tempérant le ruissellement le long de la pente



LES CR DÉPENDENT DE NOMBREUX PARAMÈTRES

De l'intensité des précipitations

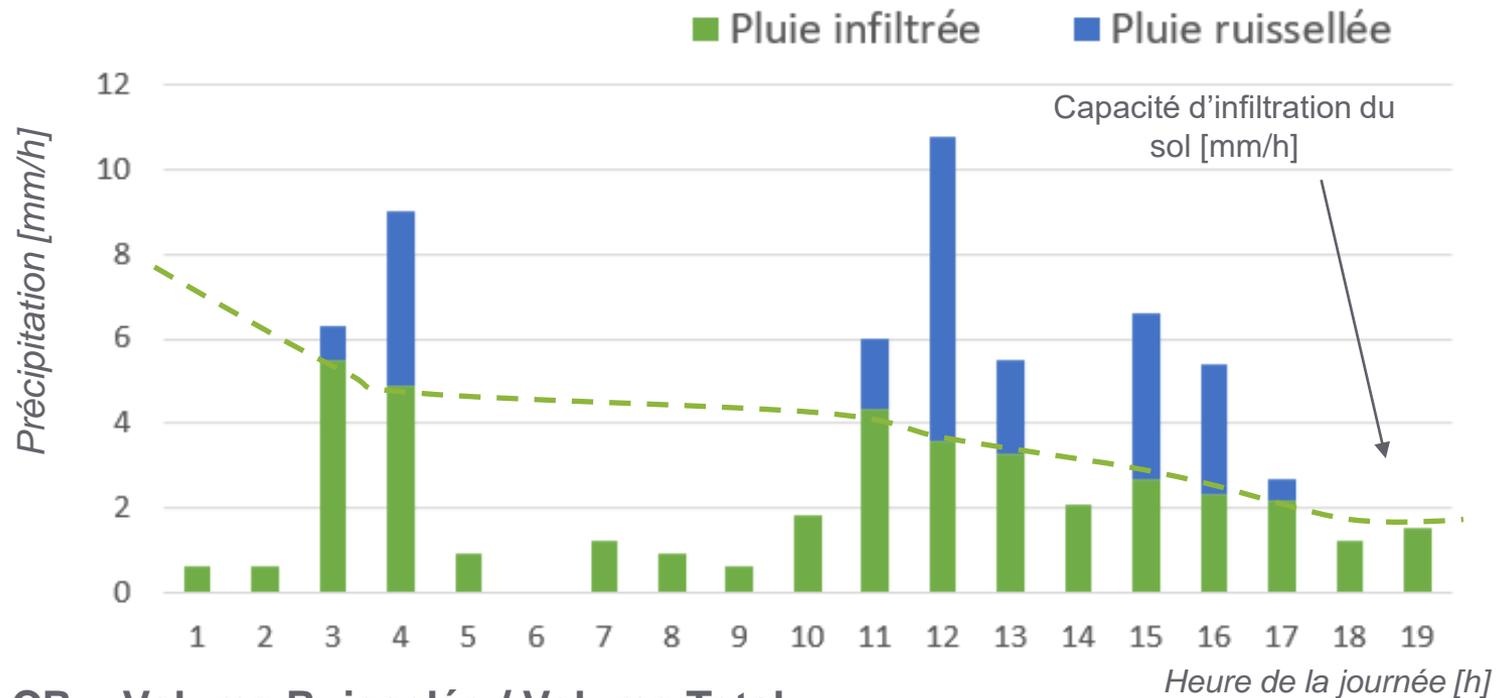


$$\text{CR} = \text{Volume Ruisselée} / \text{Volume Total}$$



LES CR DÉPENDENT DE NOMBREUX PARAMÈTRES

Du niveau de saturation du sol



LES CR DÉPENDENT DE NOMBREUX PARAMÈTRES

Du type de surface

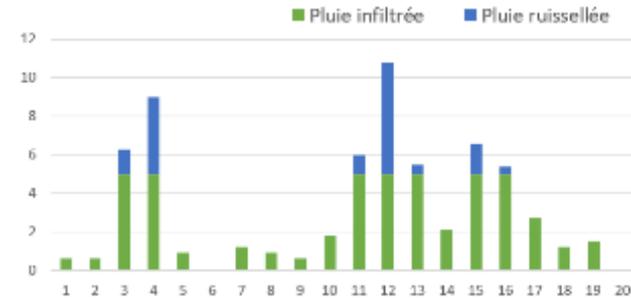


De la topographie combinée à la « rugosité » du sol

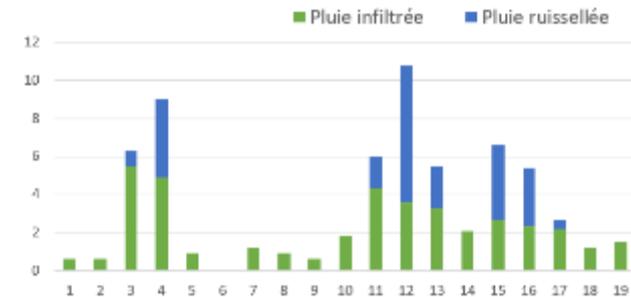


Dépendance spatiale mais statique dans le temps

Du type d'évènement pluvieux (intensité, durée)



Du niveau de saturation du sol



Variation temporelle



De nombreuses sources donnent des CR pour différents types de surfaces

- ▶ Exemple dans le Guide Bâtiment Durable

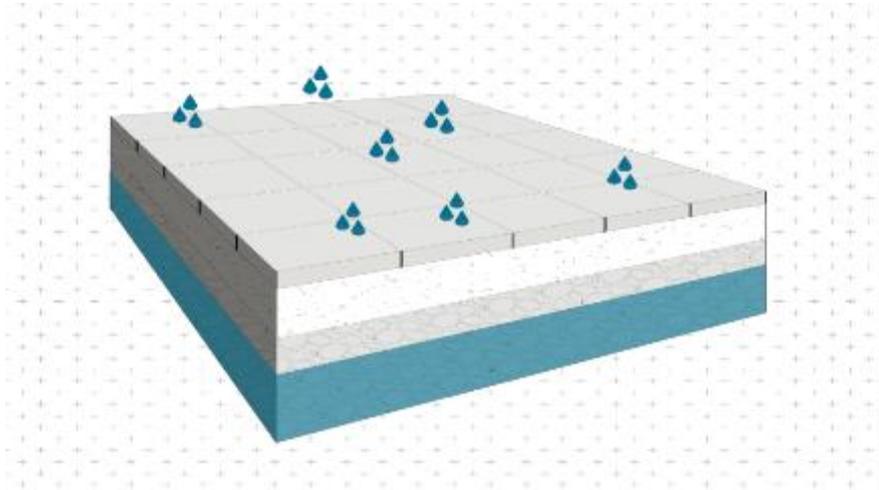
Surface	Pluies courantes	Pluies intenses
Toitures en pentes	0,85 – 0,9	1
Toitures plates		
- bitume	0,75	1
- gravier, stockant	0,6	1
- végétalisée, 5 cm	0,5	0,9
- végétalisée, 20 cm	-	0,4
- végétalisée, 40 cm	-	0,3
Asphalte	1	1
Dalle gazon/gravier	0,1	0,3
Jardin, pleine terre	0,1	0,3
Massif boisé	0,05	0,3
Pavés à joints sablé	0,55	0,9
Pavés poreux	-	0,6
Terre battue	0,2	0,7

Source : Guide bâtiment durable – Bruxelles Environnement



Cas particulier des revêtements (semi)-perméables

- Les eaux pluviales tombant sur ce type de surface ne ruisselle en soit pas... Néanmoins, on les comptabilise dans la surface active car les volumes d'eau engendrés doivent être prévus dans la sous-fondation (massif drainant)



Source : écorce

Surface total = 100 m²

↓ CR = 0,9

Surface active = 90 m²

↓ pluie = 60 mm/m²

Volume à gérer = 5,4 m³

↓
À prévoir dans la
sous-fondation



LES COEFFICIENTS DE RUISSELLEMENT

De nombreuses sources donnent des CR pour différents types de surfaces

- ▶ Les valeurs varient fortement d'une source à l'autre
- ▶ Cela demande beaucoup de temps d'attribuer un CR à chaque type de surface
 - ⇒ **Vouloir attribuer un CR précis à chaque type de surface est peu pertinent**

On simplifie les CR en ne considérant de manière générale que 2 types de surfaces

Pleine terre = 0,2
Tout le reste = 0,9

On adapte au cas par cas lorsqu'on a des situations spécifiques (pentes fortes, grandes zones vertes, zone piétinées...)

On prend en compte dans le volume à gérer obtenu les aménagements qui gèrent tout ou partie de la pluie (massifs sous revêtements perméables, toitures végétales etc.)



LES COEFFICIENTS DE RUISSELLEMENT

Exemple



<ul style="list-style-type: none"> Asphalte Pavage en béton Bordure Piste cyclable 	}	0,9	<ul style="list-style-type: none"> Pavés en grès à joint perméable Pavés perméables Fosse d'arbre, Jardin de Pluie Plantation autre Gazon 	}	0,9	}	0,2
--	---	-----	---	---	-----	---	-----



ÉLÉMENTS D'HYDROLOGIE

PLUVIOMÉTRIE

RUISSELLEMENT

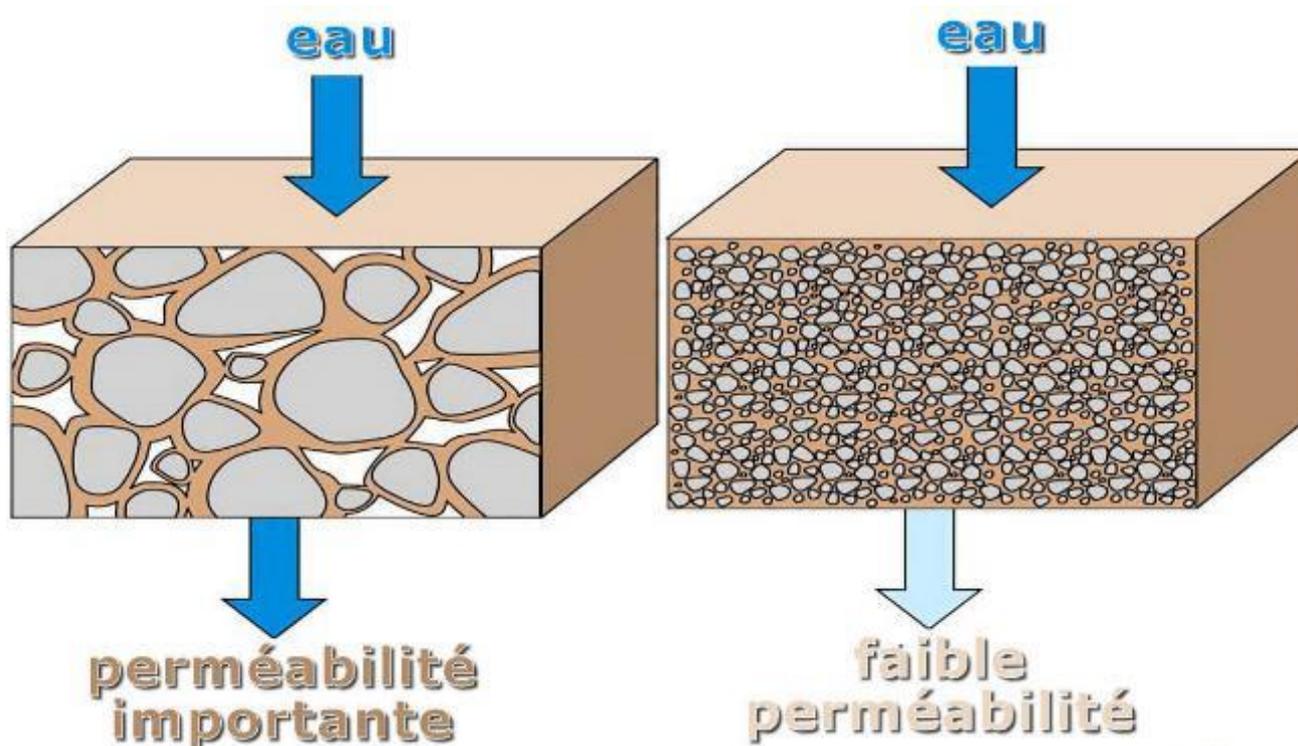
INFILTRATION



PERMÉABILITÉ DES SOLS – EN THÉORIE

Ou conductivité hydraulique d'un sol K [m/s]

- ▶ Capacité d'infiltration d'un sol
- ▶ Vitesse de transfert de l'eau à travers les couches de sol



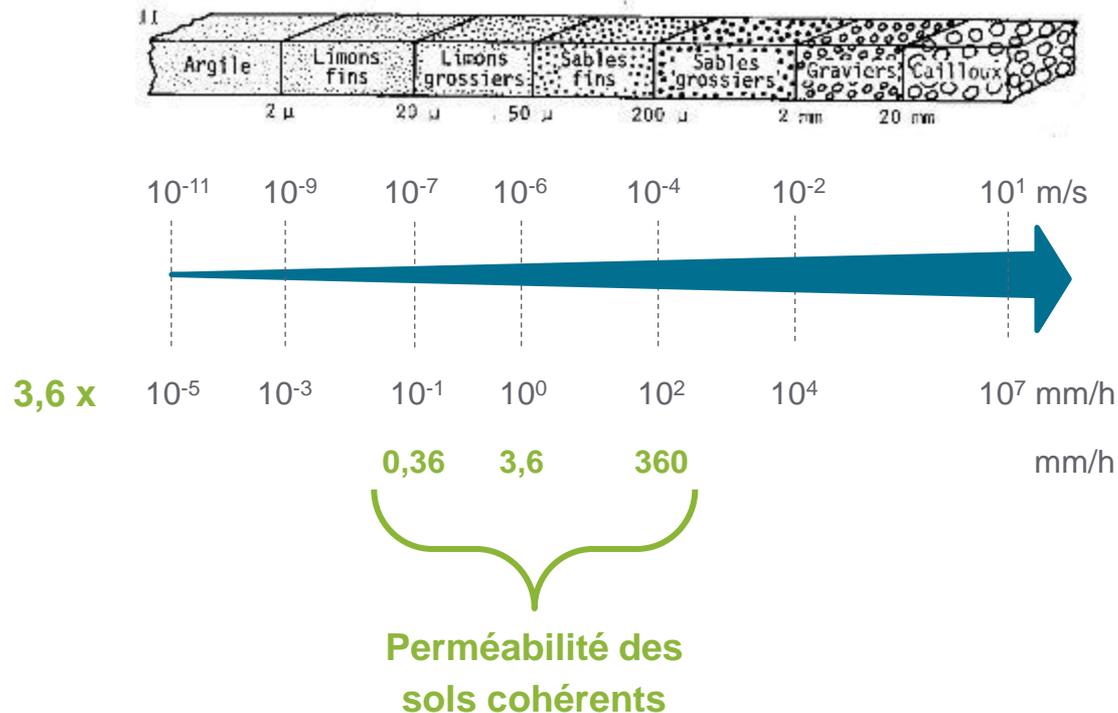
Source : www.aquaportail.com



PERMÉABILITÉ DES SOLS – EN THÉORIE

La perméabilité d'un sol dépend de

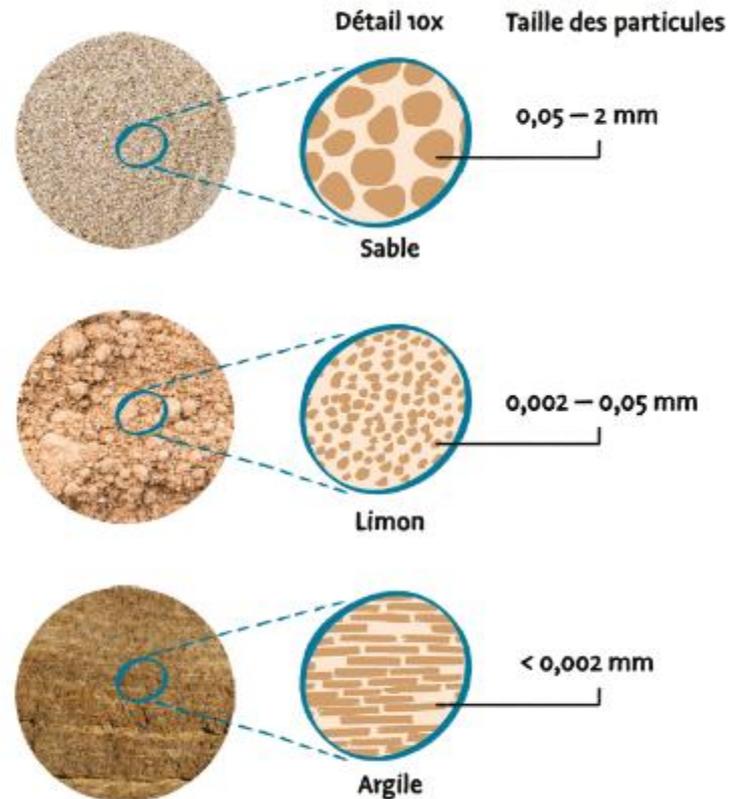
- ▶ sa **TEXTURE** : proportion relative des différentes particules minérales qui composent le sol : sable + limon + argile



PERMÉABILITÉ DES SOLS – EN THÉORIE

La perméabilité d'un sol dépend de

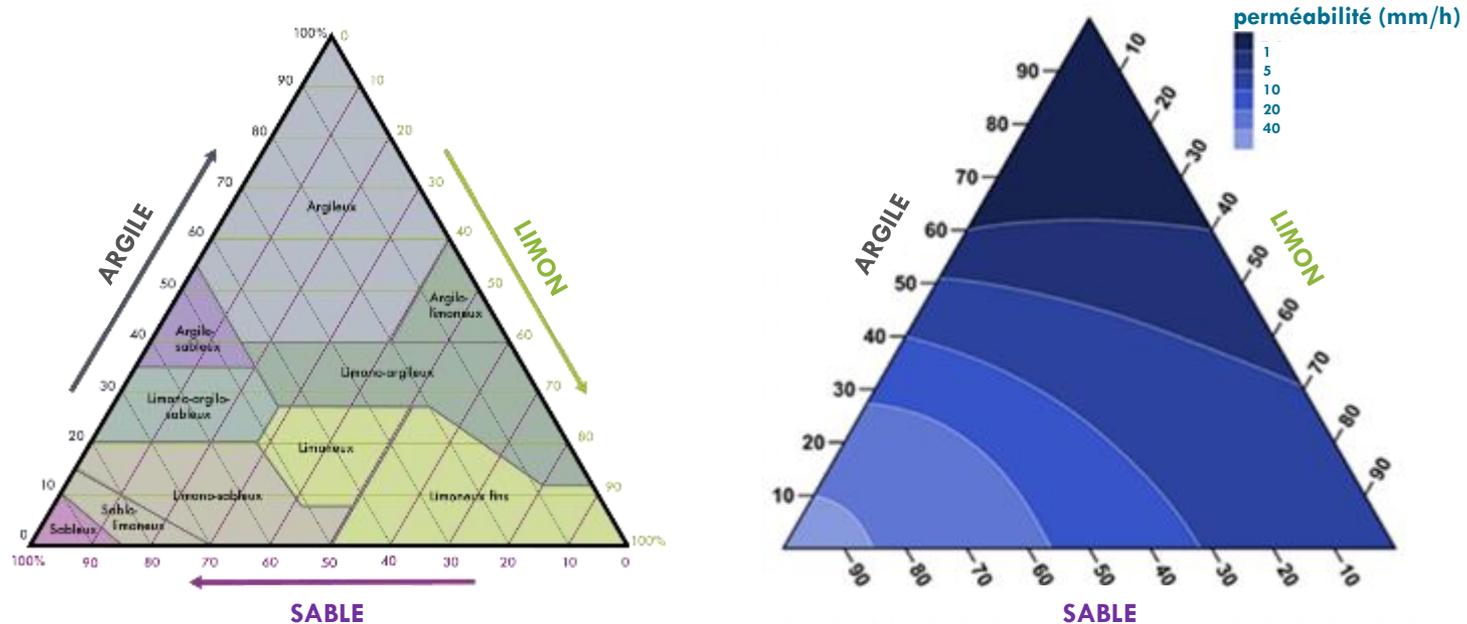
- ▶ sa **TEXTURE** : proportion relative des différentes particules minérales qui composent le sol : sable + limon + argile



PERMÉABILITÉ DES SOLS – EN THÉORIE

La perméabilité d'un sol dépend de

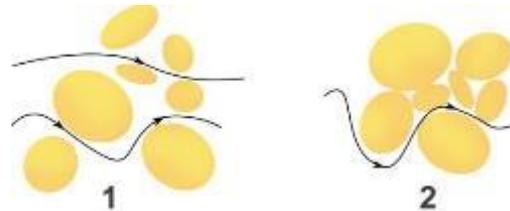
- ▶ sa **TEXTURE** : proportion relative des différentes particules minérales qui composent le sol : sable + limon + argile



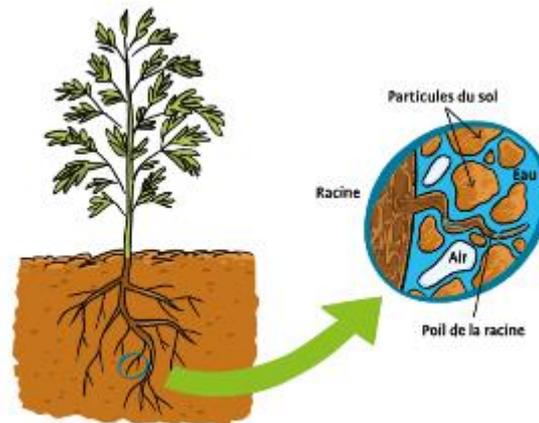
PERMÉABILITÉ DES SOLS – EN THÉORIE

La perméabilité d'un sol dépend de

- ▶ sa **STRUCTURE** : arrangement et organisation des particules minérales



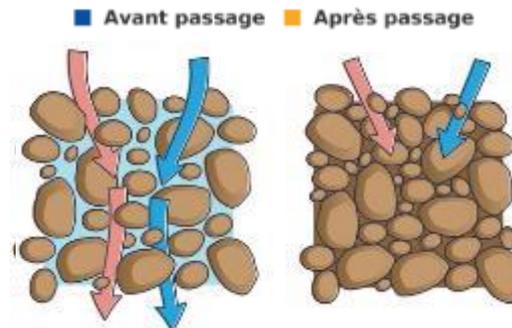
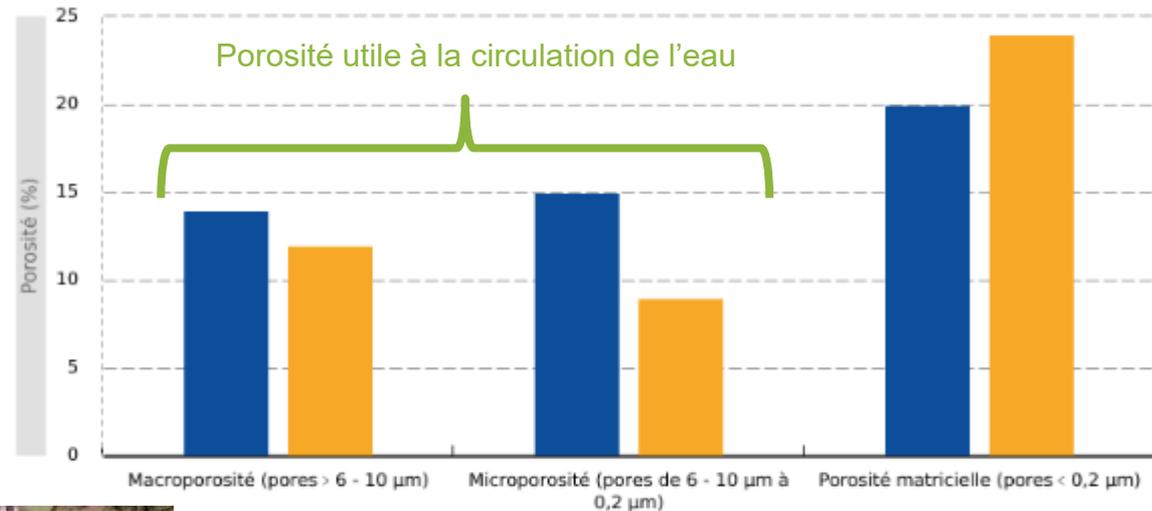
elle-même influencée par : la compaction, la quantité de matière organique, le développement racinaire, la faune...



La perméabilité d'un sol dépend de

- ▶ sa **STRUCTURE**

Exemple d'impact du passage d'un engin de débardage sur la porosité d'un sol wallon sous forêt



PERMÉABILITÉ DES SOLS – EN THÉORIE



Z1



Z2



Z3

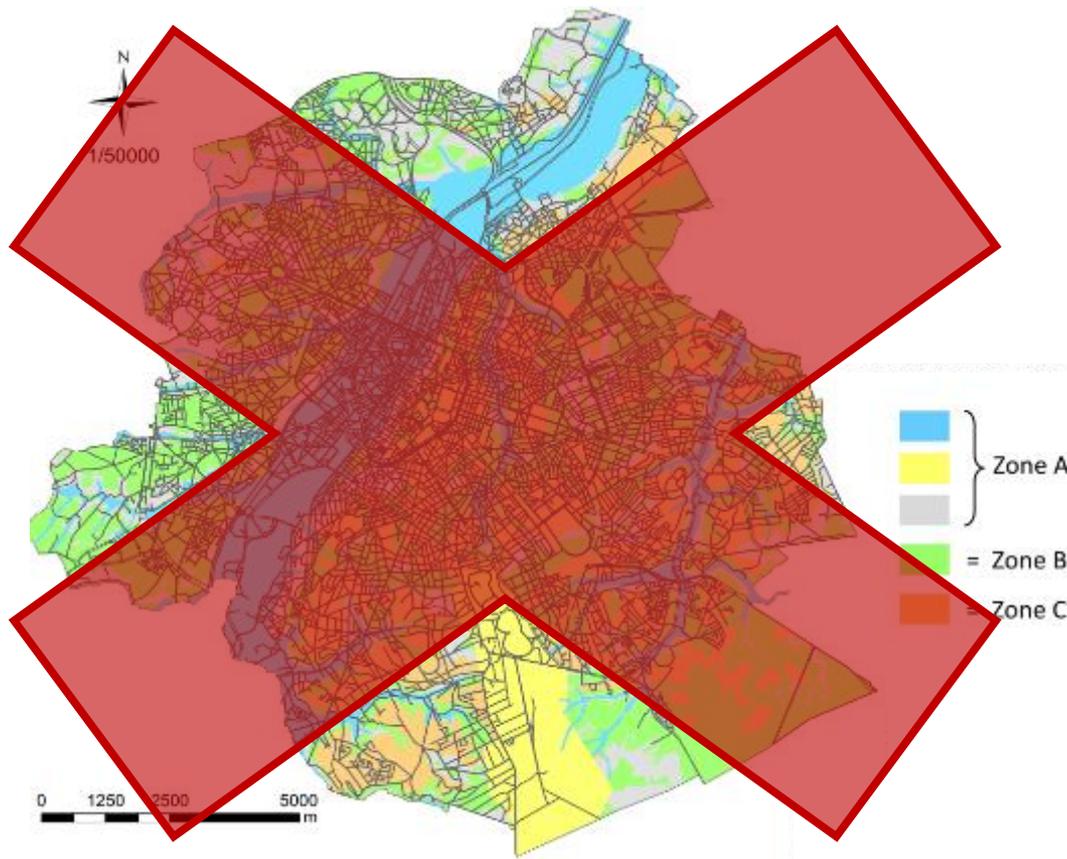


Z4



LEGENDE
 Perméabilité des sols
 ● Source : écorce, 2022



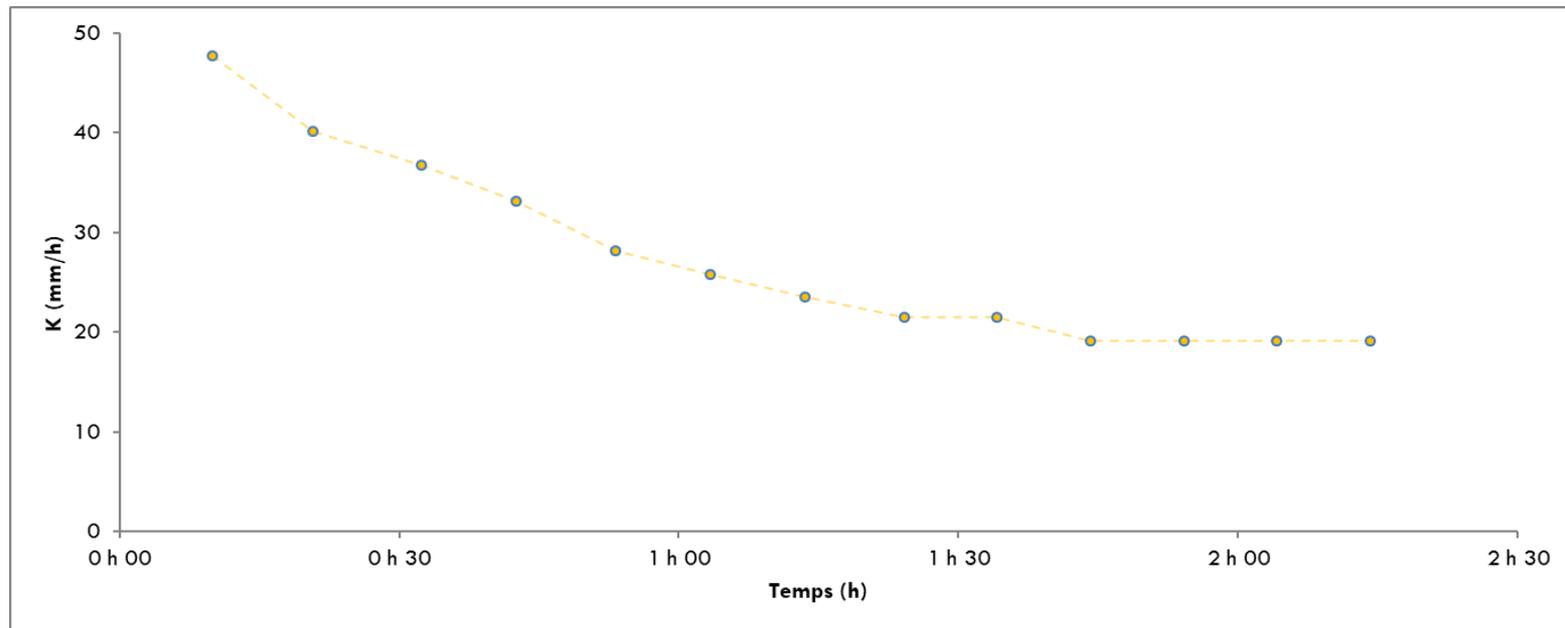


Informations
cartographiques
INUTILISABLES
à l'échelle d'un
projet



Les tests d'infiltration

- ▶ Mesure de la conductivité hydraulique du sol à saturation K_s [m/s]



Courbe théorique de l'évolution de la conductivité hydraulique lors d'une phase de saturation
Source : écorce



TESTS INFILTRATION – DIFFÉRENTES MÉTHODES

Porchet

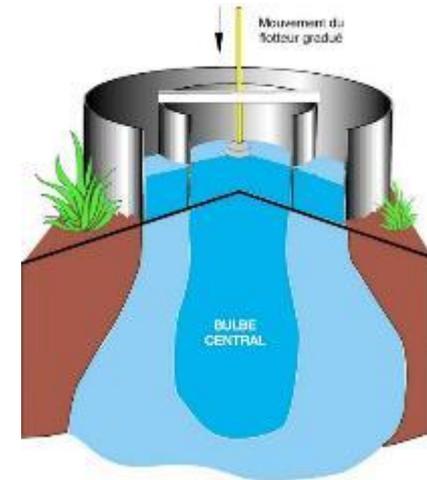


Matsuo (essais à la fosse)

...



Double anneau



TESTS INFILTRATION – DIFFÉRENTES MÉTHODES

Porchet

- ▶ Essai réalisé dans une cavité de 15 cm de diamètre réalisée à l'aide d'une tarière. Après saturation initiale on détermine le volume d'eau nécessaire pour maintenir un niveau constant de 15 cm pendant 10 minutes.



AVANTAGES & INCONVÉNIENTS

- + Méthode plus précise
- Test réalisé sur une toute petite surface à la fois



POINTS D'ATTENTION

- Ne pas compacter les parois de la cavité pour ne pas biaiser les mesures !



TESTS INFILTRATION – DIFFÉRENTES MÉTHODES

Matsuo (« essai à la fosse »)

- ▶ Essai réalisé dans une fouille de volume déterminé réalisée avec une pelle mécanique. Après saturation initiale, on suit l'abaissement du niveau de l'eau.



AVANTAGES & INCONVÉNIENTS

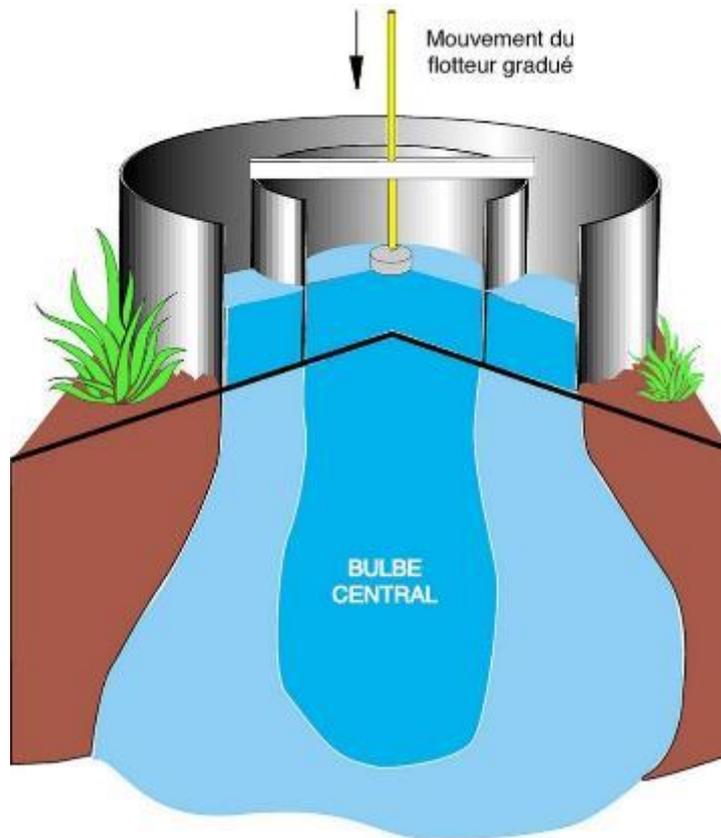
- + Adapté pour des techniques superficielles
- Méthode moins précise

POINTS D'ATTENTION

Ne pas tasser le fond !



Double anneau



Source : SDEC

AVANTAGES & INCONVÉNIENTS

- + Adapté pour des techniques superficielles
- + Méthode précise
- + Méthode adaptée pour la mesure de la perméabilité des revêtements
- Coût du matériel

POINTS D'ATTENTION

Ne pas tasser le fond et ne pas lisser les parois latérales !



Aide pour réaliser les tests d'infiltration

- ▶ [Tous nos outils et accompagnements pour les professionnels de la gestion de l'eau | Professionnel - Bruxelles Environnement](#)

^ Quels tests d'infiltration privilégier pour la gestion des eaux pluviales ?

Une fiche présentant un essai adapté aux particuliers (ex. maison unifamiliale) est également disponible (fiche 1).

Fiche 1 – [Pour particulier \(.pdf\)](#)

Fiche 2 – [Matsuo \(.pdf\)](#) ; [Tableur \(.xls\)](#)

Fiche 3 – [Porchet classique \(.pdf\)](#) ; [Tableur \(.xls\)](#)

Fiche 4 – [Porchet tube \(.pdf\)](#) ; [Tableur \(.xls\)](#)

Fiche 5 – [Double anneau \(.pdf\)](#)



Quand les réaliser ?

- ▶ Esquisse / Avant-Projet / Projet : pour utiliser dans les calculs de dimensionnement
 - ⇒ **Le plus tôt possible mais pas toujours faisable**
- ▶ Chantier : pour vérifier la bonne mise en œuvre des ouvrages

Nombre d'essais

- ▶ Dépend de la méthode (Porchet : 1 zone = 3 essais)
- ▶ Aucune norme/document de référence
 - ⇒ **Minimum 3 zones/projet et minimum 1 zone / 500 m² de surface d'infiltration projetée**

Coûts

- ▶ Dépend de la méthode, du nombre, de la difficulté logistique liée au site (eau, accès,...)...
 - Porchet : 100 à 250 € HTVA/essai (! 3 essais par zone)
 - Matsuo : 200 à 700 € HTVA/essai
 - Double anneau : 300 à 800 € HTVA/essai



Les différences entre méthodes



Source : écorce



Les différences entre méthodes

	K (mm/h)		K (mm/h)	K (m/s)
ESSAI 1	63	ZONE1	59	1,65E-05
ESSAI 2	51			
ESSAI 3	64			
ESSAI 4	14			
ESSAI 5	9	ZONE2	13	3,49E-06
ESSAI 6	15			
ESSAI 7	298			
ESSAI 8	140	ZONE3	210	5,84E-05
ESSAI 9	193			
ESSAI 10	109			
ESSAI 11	89	ZONE4	88	2,44E-05
ESSAI 12	65			
ESSAI 13	197			
ESSAI 14	183	ZONE5	175	4,86E-05
ESSAI 15	146			
ESSAI 16	30			
ESSAI 17	35	ZONE6	35	9,68E-06
ESSAI 18	40			
ESSAI 19	57			
ESSAI 20	98	ZONE7	73	2,02E-05
ESSAI 21	62			
ESSAI 22	28			
ESSAI 23	13	ZONE8	18	4,92E-06
ESSAI 24	12			

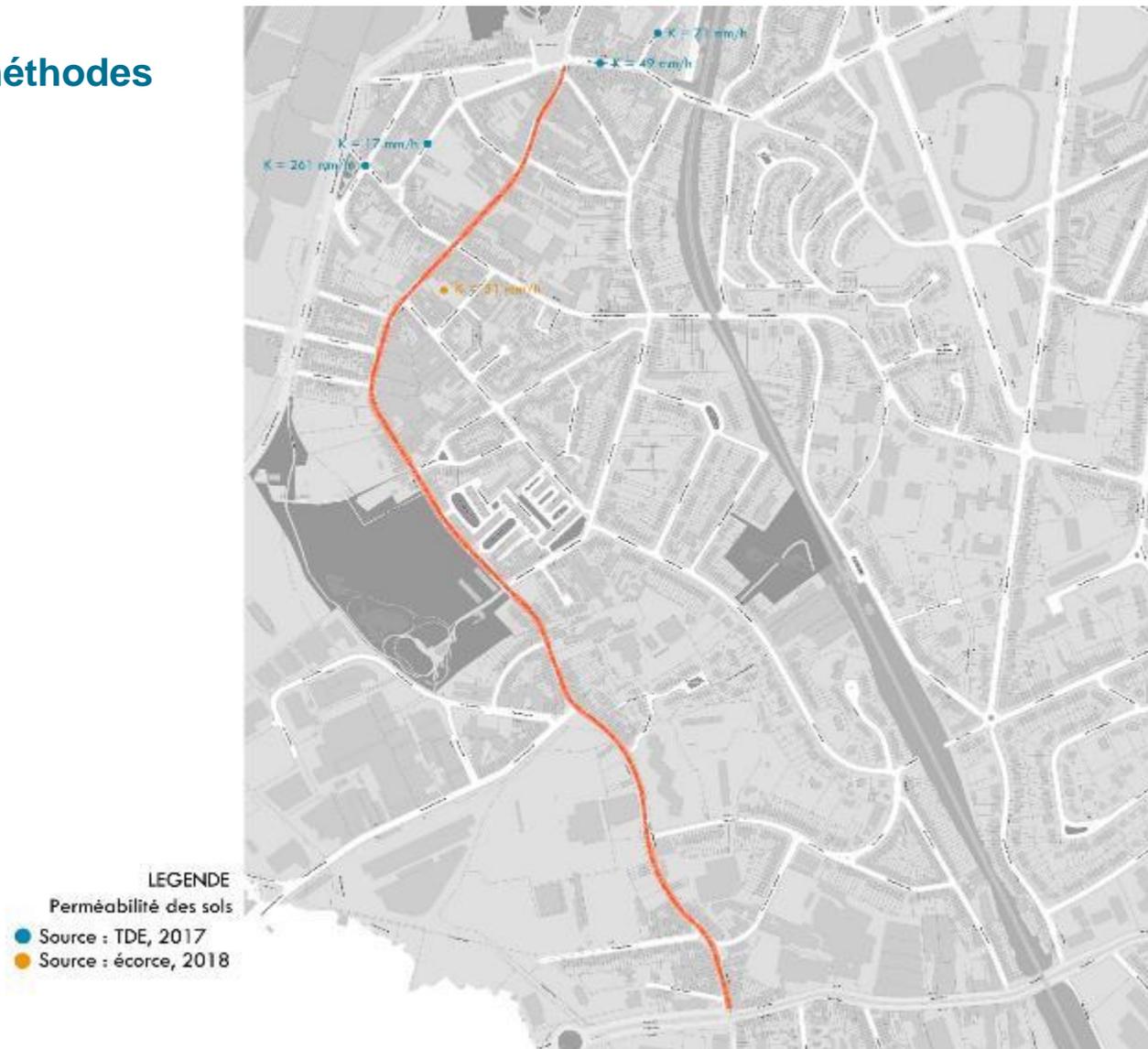


	K (mm/h)		K (mm/h)	K (m/s)
IP1	3	ZONE A	6	1,6E-06
IP2	2			
IP3	12			
IP4	320	ZONE B	145	4,0E-05
IP5	6			
IP6	110	ZONE C	15	4,2E-06
IP7	24			
IP8	6			

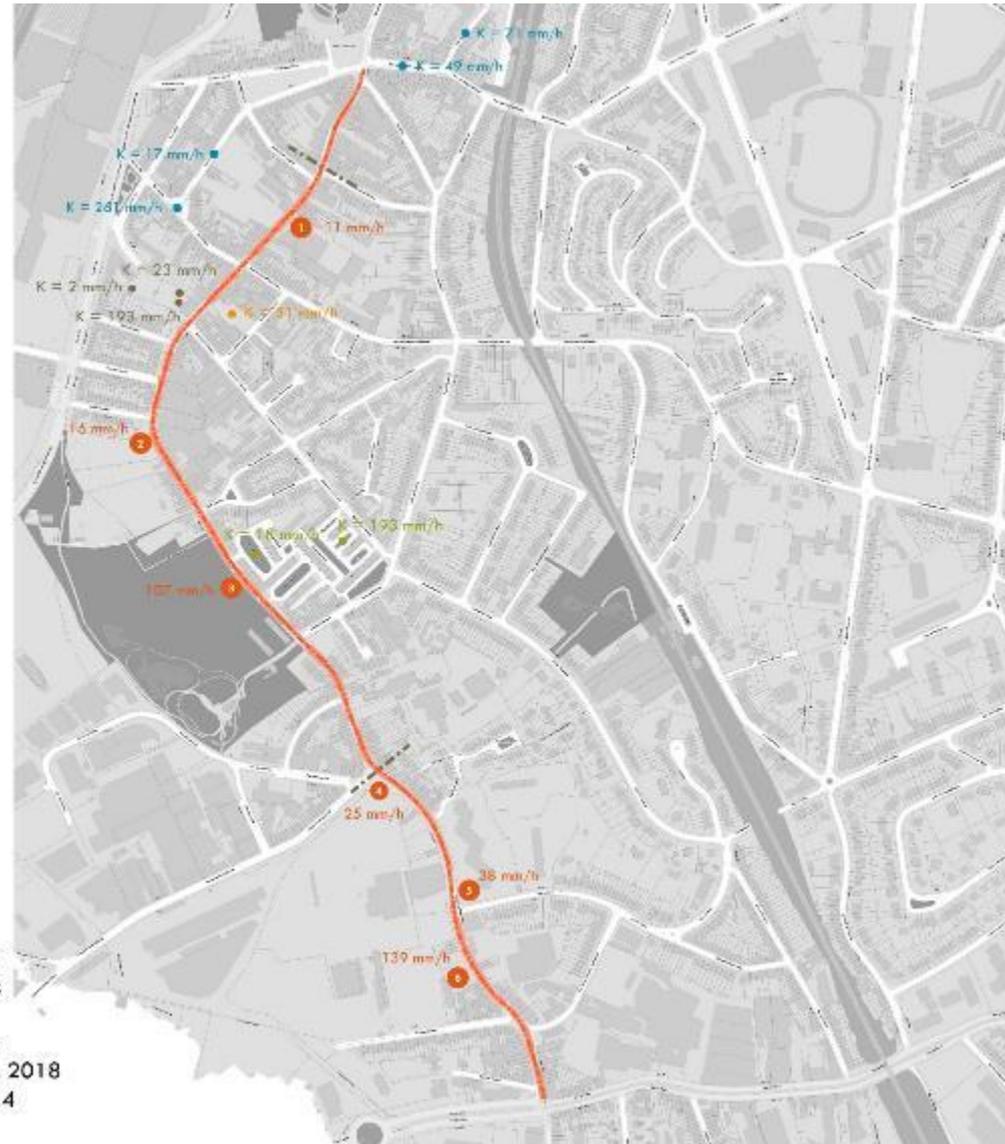


64 TESTS INFILTRATION – POINTS D'ATTENTION

Les différences entre méthodes



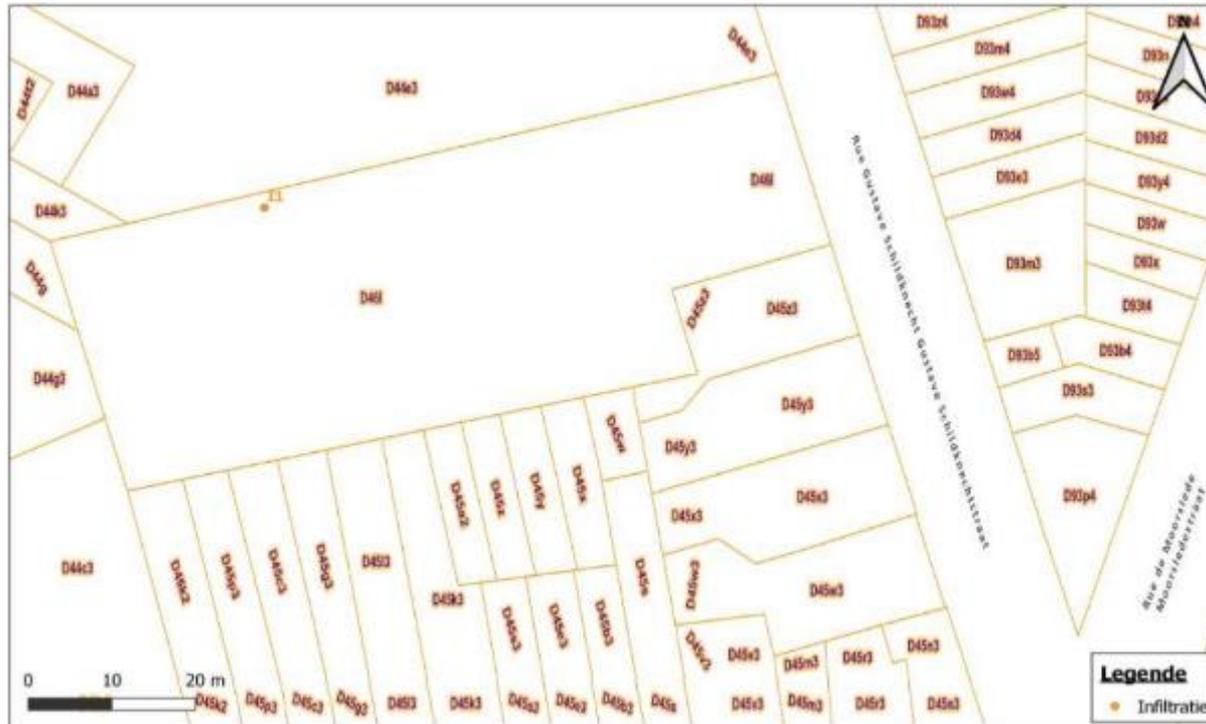
65 TESTS INFILTRATION – POINTS D’ATTENTION



- LEGENDE**
 Perméabilité des sols
- Source : TDE, 2017
 - Source : écorce, 2018
 - Source : Squarebeek, 2018
 - Source : Huilerie, 2014
 - Tests réalisés, 2020



Nombre de tests et profondeur



- ▶ 1 test réalisé, profondeur 1m
- ▶ $K_s = 0 \text{ mm/h}$

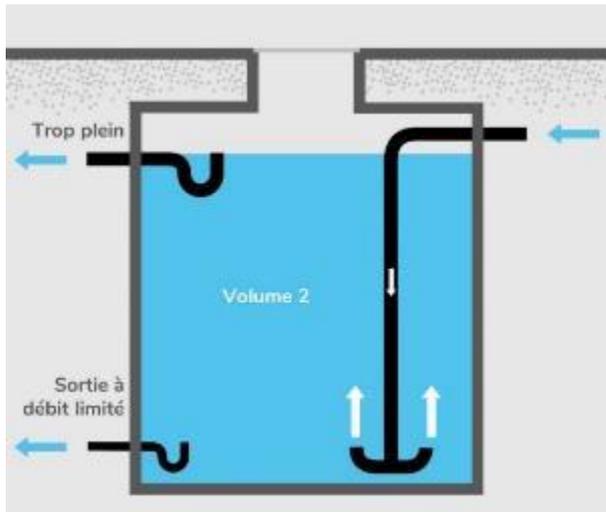
Source : Service
Pédologique de Belgique

« Le sol ne boit pas, l'infiltration est impossible ! »

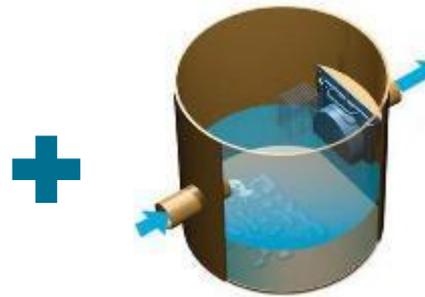


67 TESTS INFILTRATION – POINTS D'ATTENTION

« Le sol ne boit pas, l'infiltration est impossible ! »

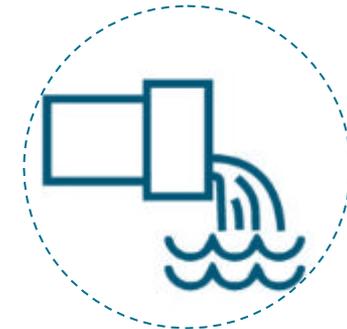


Bassin d'orage



Rejet à débit régulé

=



Rejet à l'égouttage



= Gestion intégrée insuffisante



68 TESTS INFILTRATION – POINTS D'ATTENTION



Source : Service
Pédologique de Belgique

- ▶ 9 tests réalisés, profondeur 30 cm
- ▶ K_s moyen = 40 mm/h

⇒ **Projet majoritairement en infiltration totale (zéro rejet) pour TR100**



Le débit d'infiltration (Q_{inf}) dépend

- ▶ De la surface d'infiltration (S_{inf})
- ▶ De la perméabilité du sol (conductivité hydraulique à saturation K_s mesurée en mm/h ou m/s)

$$K_s = 5 \text{ mm/h}$$
$$S_{inf} = 100 \text{ m}^2$$



$$Q_{inf} = 0,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$K_s = 50 \text{ mm/h}$$
$$S_{inf} = 10 \text{ m}^2$$



$$Q_{inf} = 0,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

⇒ **NE PAS TOUT MISER SUR LA PERMEABILITE !!**

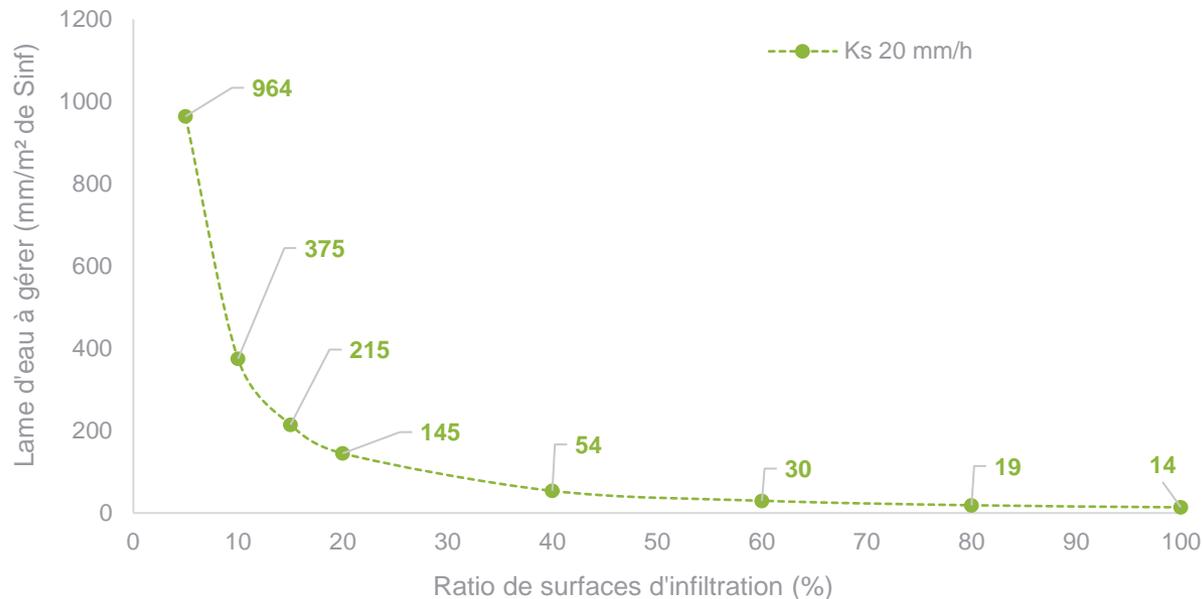


SURFACE D'INFILTRATION

Lorsque l'on réduit la surface d'infiltration, on réduit simultanément

- ▶ Le débit d'infiltration → sensible à des pluies plus longues générant plus de volume à temporiser
- ▶ La surface disponible pour temporiser un même volume

⇒ **croissance exponentielle du besoin de profondeur**



Evolution de la lame d'eau à gérer en mm par m² de surface d'infiltration (i.e. profondeur utile de l'ouvrage) en fonction du ratio des surfaces d'infiltration en % des surfaces actives (TR20 – Ks 20 mm/h)

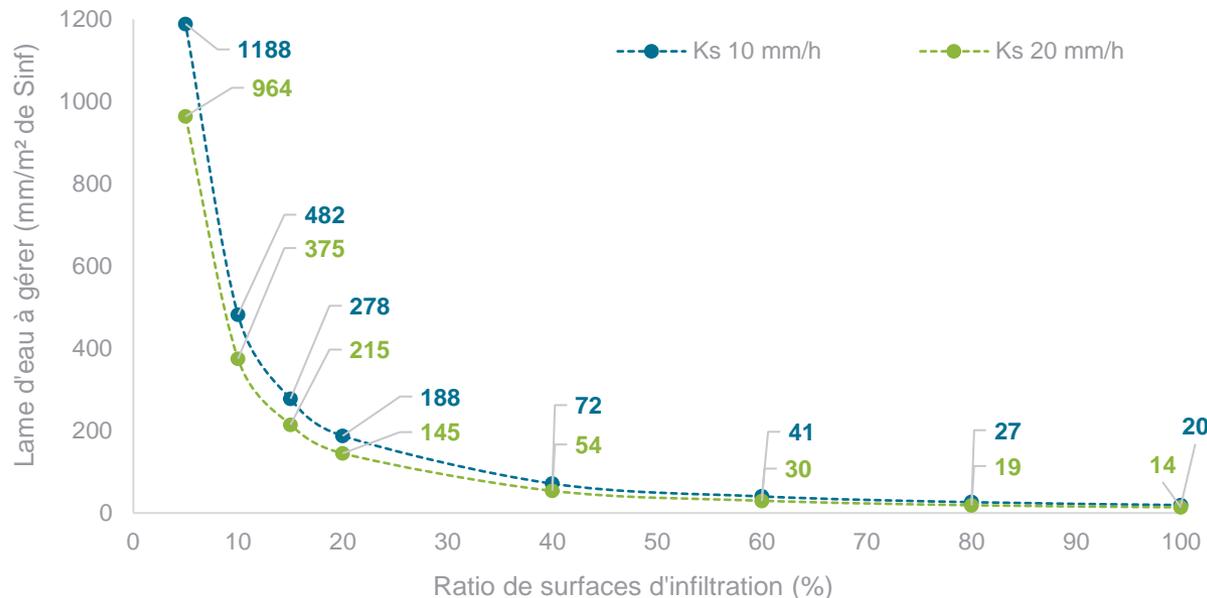
Source : Bruxelles Environnement



Lorsque l'on réduit la perméabilité, on réduit uniquement

- ▶ Le débit d'infiltration

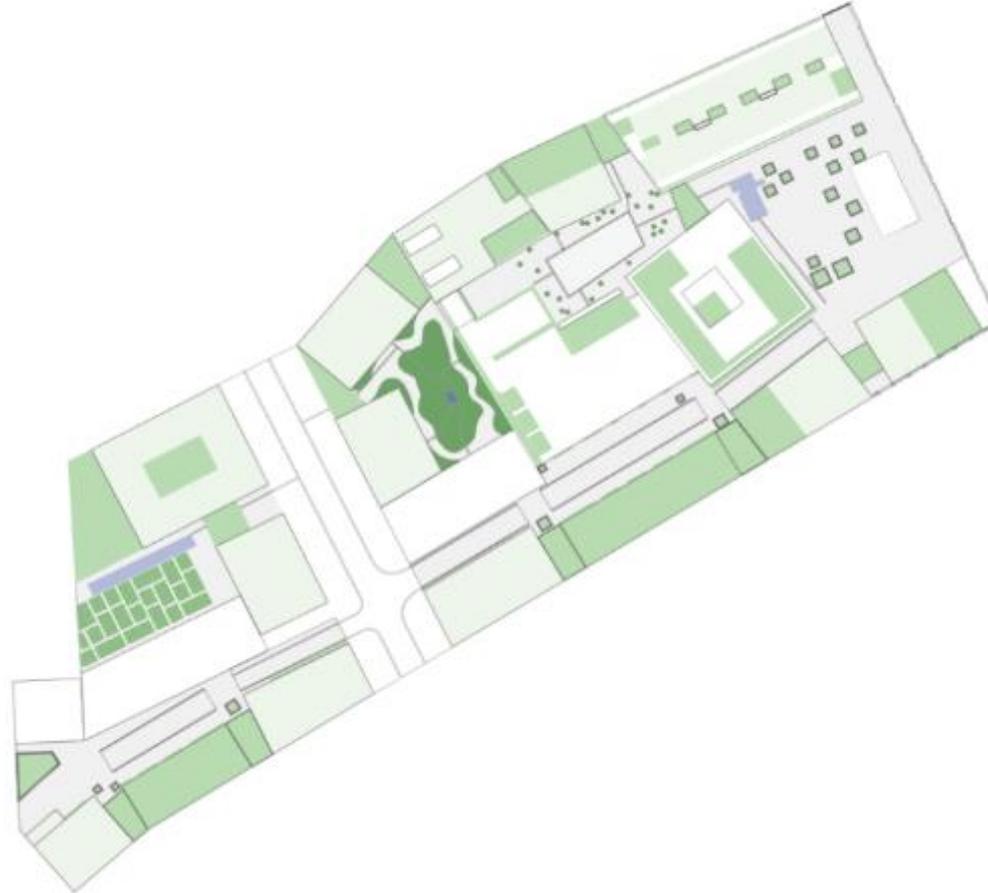
⇒ Une perméabilité moins favorable engendre une profondeur plus importante mais reste proportionnellement moins impactant qu'une diminution de la surface d'infiltration



Evolution de la lame d'eau à gérer en mm par m² de surface d'infiltration (i.e. profondeur utile de l'ouvrage) en fonction du ratio des surfaces d'infiltration en % des surfaces actives (TR20 – Ks 10 et 20 mm/h)

Source : Bruxelles Environnement





- ▶ Ks évaluée sur base cartographique à 1,5 mm/h
- ▶ Surfaces d'infiltration $\pm 200 \text{ m}^2$ (parcelle de 24 400 m²!)

⇒ **Bassins d'orage et évacuation vers le Canal**



SURFACE D'INFILTRATION



- ▶ Ks mesurée (2 résultats sur 18 essais réalisés ☹) à ± 10 mm/h
- ▶ Surfaces d'infiltration $\pm 3\,700$ m²

⇒ **Projet en infiltration totale (zéro rejet) pour TR10 à TR40**





- ▶ La récupération des eaux pluviales et la gestion à la parcelle (infiltration/évapotranspiration) ont des objectifs de gestion d'évènements pluvieux différents
 - Récupération des petites pluies
 - Gestion à la parcelle des pluies moyennes et extrêmes
- ▶ La perméabilité du sol est très rarement un frein à l'infiltration





Service FACILITATEUR EAU

- ▶ Missions

- ⇒ **Conseil envers les professionnels**
- ⇒ **Echanges d'expérience, partage de contacts, guider vers les services et outils mis à votre disposition**

- ▶ Concrètement

- ⇒ **Service gratuit**
- ⇒ **Expertise au service de votre projet**
- ⇒ **Tous les types de projets**
- ⇒ **Accompagnement personnalisé**

✉ faciliteur.eau@environnement.brussels



Midis techniques Eau

1. Les tests d'infiltration
2. Les revêtements perméables
3. Les plantations dans les ouvrages de GIEP
4. L'infiltration et les sols pollués
5. Introduction sur la pollution des eaux de ruissellement
6. Les clés d'une GiEP réussie
7. La GiEP en toiture
8. La GiEP en rénovation
9. La gestion des eaux grises
10. Les voiries perméables
11. La réutilisation des eaux pluviales
12. Le rejet des eaux pluviales dans le réseau hydrographique
13. L'entretien des dispositifs de gestion des eaux pluviales - GIEP
14. La gestion des eaux pluviales par les toitures végétalisées
15. Gestion des eaux pluviales, une opportunité d'accueil pour la biodiversité

Présentations (et replay) sur <https://environnement.brussels/pro/outils-et-donnees/supports-de-formations-et-seminaires/tous-nos-evenements-passes-sur-la-gestion-de-leau>



FAQ's Eau

- ▶ Quels tests d'infiltration privilégier pour la gestion des eaux pluviales ?

Fiches et tableurs sur

<https://environnement.brussels/pro/services-et-demands/conseils-et-accompagnement/tous-nos-outils-et-accompagnements-pour-les-professionnels-de-la-gestion-de-leau#faqs-sur-la-gestion-integree-des-eaux-pluviales>

Fiche 1 – [Pour particulier \(.pdf\)](#) 

Fiche 2 – [Matsuo \(.pdf\)](#)  ; [Tableur \(.xls\)](#) 

Fiche 3 – [Porchet classique \(.pdf\)](#)  ; [Tableur \(.xls\)](#) 

Fiche 4 – [Porchet tube \(.pdf\)](#)  ; [Tableur \(.xls\)](#) 

Fiche 5 – [Double anneau \(.pdf\)](#) 

Documentation CEREMA sur les tests d'infiltration

- ▶ [Recommandations pour la commande d'étude d'infiltrabilité des sols](#)



IQSB (Sous-Division Sols)

- ▶ Indice de Qualité des Sols Bruxellois

<https://environnement.brussels/thematiques/sols/good-soil/indices-de-qualite-des-sols-bruxellois>

- ▶ S'intègre dans une stratégie GoodSoil, plus large visant à promouvoir les Sols Vivants
- ▶ 2 versions de l'outil en ligne Citoyens/Pro;
- ▶ Pour les instances publiques, possibilité d'estimer cet IQSB via Centrale d'achat pour les études de sol

2. Paramètres à mesurer

Les paramètres à mesurer in-situ ou en laboratoire ont été classés en 5 grandes catégories : physiques, chimiques et biologiques. Un seul échantillon par motte ou per forage doit être analysé.

2.1. Paramètres physiques

Indicateur	Unité	Echantillonnage	Pondération
Texture	/	Profil de sondage	LS, SL, S : 2pt
		Classe la plus représentative du profil Triangle de texture ¹	LC, CL, UC : 2 pt C, CI : 2 pt S, silty S : 2 pt
Structure	/	0-40 cm volume	Stratification et granularité générale : 3 pt
			Polyédrique ou cubique angulaire du sub-angulaire : 2 pt Régularité en colonne, lamellaire : 2 pt Faible structure : 0 pt
Réservoir utile en eau	%	0-20 cm volume	>20% : 5 pt 10-20% : 3 pt <10% : 1 pt
compaction	pt	in situ avec un géonétromètre (sur 1 m si possible)	Non compacté (>100 pt) : 5 pt Moyen/fortement compacté (150-300 pt) : 3 pt
		Usure à la surface	Fortement compacté (>300 pt) : 3 pt
Conductivité hydraulique	K (m/s)	in situ en surface (Essais INFOFICHES : Matsuo, Prochet, Porchet Tube)	>10 ⁻⁵ : 5 pt Entre 10 ⁻⁵ et 10 ⁻⁷ : 3 pt <10 ⁻⁷ : 1 pt

Conductivité hydraulique	K (m/s)	In situ en surface (Essais INFOFICHES : Matsuo , Prochet , Porchet Tube)	>10 ⁻⁵ : 5 pt Entre 10 ⁻⁵ et 10 ⁻⁷ : 3 pt <10 ⁻⁷ : 1 pt
--------------------------	---------	--	---





www.guidebatimentdurable.brussels

Eaux pluviales

- ▶ Dossier | [Gérer les eaux pluviales sur la parcelle](#)
- ▶ Dossier | [Faire face aux inondations](#)

Diminution de la consommation d'eau potable

- ▶ Dossier | [Faire un usage rationnel de l'eau](#)
- ▶ Dossier | [Récupérer l'eau de pluie](#)

Eaux usées

- ▶ Dossier | [Améliorer la gestion des eaux usées sur la parcelle](#)



Formations et séminaires

Inscrivez-vous aux formations organisées par Bruxelles Environnement
<https://environnement.brussels/formationsbatidurable>

Consultez tous les supports [gratuitement](#) !



Eaux de pluie, un atout pour l'espace public



http://document.environnement.brussels/opac_css/electfile/STUD_EaudePluie_EspacePublic_FR.PDF



Eaux de pluie, un atout pour l'espace public

PLACE 1 : UN PARVIS PARTIELLEMENT INONDABLE EN RÉGION PARISIENNE

PROJET D'AMÉNAGEMENT

NOM DE L'OPÉRATION : Parvis du collège Lucie Aubrac

DATE DE RÉALISATION : mars 2007
 COÛT DU DISPOSITIF HYDRAULIQUE
 (MORS RÉSEAU) : 111 700 €
 SUPERFICIE DU PROJET : 3,3 ha

PRÉCISIONS SUR LE PROJET D'AMÉNAGEMENT : Le projet porte sur une voie, une ligne en site propre, une voie de circulation douce sur un linéaire de 3 km, en périphérie de Paris. Une grande partie des eaux pluviales sont stockées à ciel ouvert, sur des espaces urbains longeant la voie. En l'occurrence, il s'agit ici d'une place en entrée de collège.

DISPOSITIFS DE GESTION ET/OU DÉPOLLUTION DES EAUX PLUVIALES

BASSIN VERSANT

SUPERFICIE : 1,200 ha

TYPLOGIE : urbain lâche

COEFFICIENT D'IMPERMÉABILISATION : 0,69

SCHEMA DE GESTION DES EAUX : Les eaux, de la place, sont stockées à ciel ouvert, prioritairement dans la noue située au sud de la place (1), puis sur une partie minimale de cette même place (2). Les eaux de voirie automobiles sont retenues dans un ouvrage enterré; celles des cheminements piétons et cyclistes sont tamponnées dans une noue qui longe la voirie.

DISPOSITIF DE RÉTENTION

ALIMENTATION : À ciel ouvert, gravitaire

ÉVACUATION : enterrée, gravitaire

TYPE D'OUVRAGE :

- BASSIN SEC ZONE URBAINE INONDABLE TOITURE TERRASSE BASSIN EN EAU
 CUVE CANALISATION SURDIMENSIONNÉE STRUCTURE ALVÉOLAIRE

DÉBIT DE PLEUE RÉGULÈ : 9 l/s/ha

CAPACITÉ DE RÉTENTION : 310 m³ (pluie 10 ans)

DÉTAILS DE FONCTIONNEMENT : L'ensemble du dispositif est conçu pour être inondé sur de très faibles hauteurs (maximum 40 cm). Quelle que soit le pluie, le cheminement piéton reste hors d'eau. Un vocabulaire paysager est employé systématiquement pour l'ensemble des ouvrages hydrauliques à ciel ouvert (alignement d'arbres, modules végétaux, bordure en béton blanc).

DISPOSITIF DE DÉPOLLUTION

TYPE D'OUVRAGE :

- DÉCANTEUR DÉBOURBEUR SÉPARATEUR À HYDROCARBURES FILTRES À SABLE (PHYTOREMÉDIATION)

PERFORMANCE ATTENDUE : La qualité de rejet, imposée par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie - est celle du milieu naturel, en l'occurrence la Seine. Le fabricant et fournisseur du séparateur à hydrocarbures a dimensionné l'ensemble des dispositifs de sorte qu'ils répondent à cette norme.

DÉTAILS DE FONCTIONNEMENT : Toutes les eaux transitent par la cuve équipée d'un déboureur, dégrilleur, décanteur lamellaire avec séparateur d'hydrocarbures.

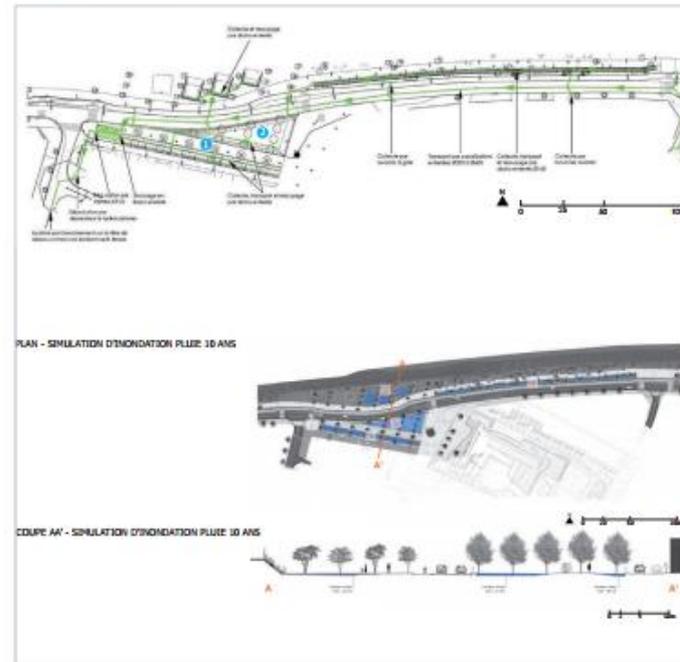
vue Jean Aillamas



93 430 Villemarais



France



Eaux de pluie, un atout pour l'espace public

GESTION ET ENTRETIEN DE L'OUVRAGE

TYPE D'ENTRETIEN : Ce dispositif est équipé d'ouvrages :

- enterrés : collecte par avaloirs, transport par canalisations, stockage en bassin enterré, régulateurs vortex, dépollution par séparateur à hydrocarbures. Ces dispositifs relèvent des services d'assainissement.
- à ciel ouvert : carrelage en mosaïque, noues, zones non-débitées. Ces dispositifs, constitués d'espaces végétalisés simples relèvent des services espaces verts. L'entretien se résume à un entretien classique des espaces verts, à charge de la communauté d'agglomération.

COÛT D'ENTRETIEN ESTIMÉ : 2 250 €/an

EQUIVALENT JOUR TRAVAILLÉ : 0,5 jour/an pour l'assainissement et 4 jours/an pour les espaces verts

ÉTAT ACTUEL DE L'OUVRAGE : L'ensemble du dispositif est en parfait état.

QUALITÉ ET DÉFAUT DE CONCEPTION OU DE SUIVI IMPACTANT SUR L'ENTRETIEN : Après une pluie exceptionnelle, le point le plus bas peut être couvert d'un léger dépôt (0,5 cm sur 10 m²).

RÉFÉRENTS ASSOCIÉS À L'OUVRAGE

MAÎTRISE D'OUVRAGE :

NOM : Conseil Général du 93 - Direction de la Voirie
TYPE D'ORGANISME : Collectivité
ADRESSE : esplanade Jean-Moulin
VILLE : 93 006 Bobigny PAYS : France
TEL : + 33 1 43 93 41 77 MAIL : ebeval@cg93.fr

MAÎTRISE D'ŒUVRE (AMÉNAGEMENT PAYSAGER) :

NOM : Compagnie Urbaine
TYPE DE STRUCTURE : Bureau d'études
ADRESSE : 45, Avenue Trudaine
VILLE : 75 009 Paris PAYS : France
TEL : + 33 1 46 78 09 09 MAIL : ep@compagnie-urbaine.fr

MAÎTRISE D'ŒUVRE (HYDROLOGUE - VRD) :

NOM : Compagnie Urbaine
TYPE DE STRUCTURE : Bureau d'études
ADRESSE : 45, Avenue Trudaine
VILLE : 75 009 Paris PAYS : France
TEL : + 33 1 46 78 09 09 MAIL : ep@compagnie-urbaine.fr

GESTIONNAIRE :

NOM : Plaine Commune
TYPE D'ORGANISME : Collectivité
ADRESSE : 21, avenue Jules Riset
VILLE : 93 218 Saint-Denis PAYS : France
TEL : + 33 1 55 93 55 55 MAIL : charlotte.boude@plaine-commune.com.fr
TYPE D'INTERVENTION : Tonte des espaces verts, nettoyage des espaces minéralisés.

RÉFÉRENT :

NOM : BELOEL Emmanuelle
FONCTION : Ingénieur études et travaux
TEL : + 33 1 43 93 41 77

RÉFÉRENT :

NOM : PIEL Christian
FONCTION : Directeur
TEL : + 33 1 46 78 09 09

RÉFÉRENT :

NOM : PIEL Christian
FONCTION : Directeur
TEL : + 33 1 46 78 09 09

RÉFÉRENT :

NOM : BOUDET Charlotte
FONCTION : Responsable assainissement
TEL : + 33 1 55 93 55 55

Le partage de la gestion entre services espaces vert et assainissement est facteur de difficultés en termes de gestion et de financement.



Vue générale du parc



Détails du parc



Détails de la noue, le long du parc

NOTES COMPLÉMENTAIRES :



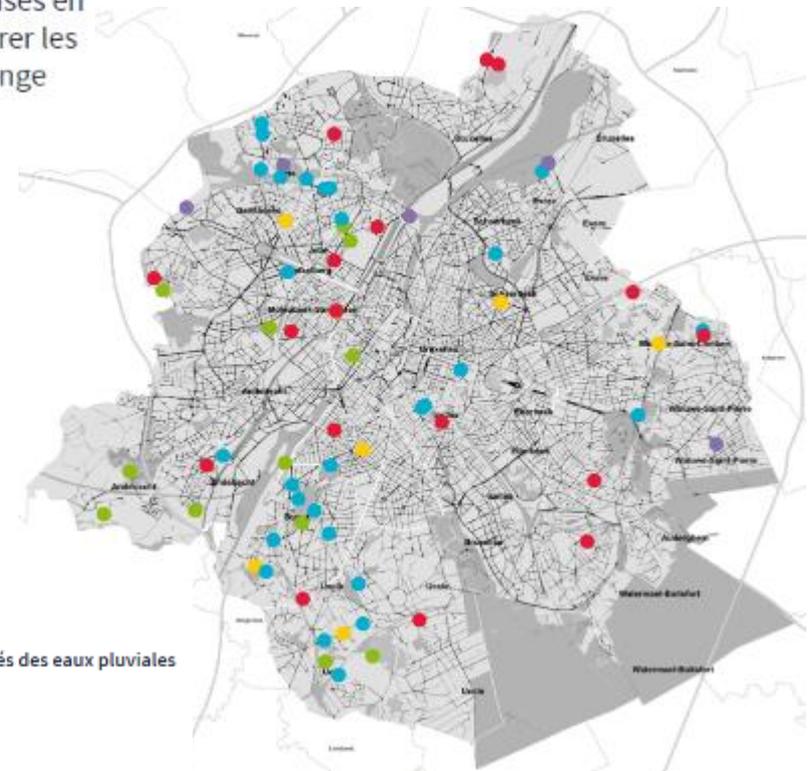
La carto maillage pluie

- Disponible dans le [Geodata de Bruxelles Environnement](#)



Cette carte permet de consulter des exemples d'aménagements de gestion intégrée des eaux pluviales réalisés en région bruxelloise afin d'améliorer les connaissances et faciliter l'échange d'expériences.

- De nouveaux projets doivent régulièrement y être ajoutés



Légende

Aménagements intégrés des eaux pluviales

- Bâtiment
- Jardin
- Voirie
- Parc
- Place



Stéphan TRUONG

Ingénieur projet – Facilitateur EAU

☎ + 32 4 226 91 60

✉ facilitateur.eau@environnement.brussels

écoRce
INGÉNIERIE & CONSULTANCE



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

