

Les ouvrages d'infiltration la fonction filtration

recommandations à l'usage des gestionnaires

PROGRAMME



Sommaire

3 I. Introduction

4 II. Généralités sur les ouvrages d'infiltration

4 1. Principes de fonctionnement

6 2. Réglementation

8 3. Fonctions assurées par les ouvrages d'infiltration

10 III. Prise en compte de la zone non-saturée dans la conception et le dimensionnement

10 1. Règles générales de conception et de dimensionnement

15 2. L'effet de la structure du sous-sol

18 IV. Caractérisation du sous-sol

18 1. Études de faisabilité géotechnique

20 2. Caractérisation des hétérogénéités par les méthodes géophysiques :
le radar géologique et la tomographie de résistivité électrique

25 V. Suivi et gestion des sédiments

25 1. Règles générales de gestion des sédiments

26 2. Influence du bassin versant sur la qualité des sédiments urbains ?

30 Glossaire

33 Remerciements

I. Introduction

«Le sol est essentiellement une ressource non renouvelable, ainsi qu'un système très dynamique qui remplit de nombreuses fonctions et qui joue un rôle crucial pour les activités humaines et la survie des écosystèmes^[1]». Sur cette phrase débute le projet de directive-cadre européenne sur la protection des sols. En réponse à la pression croissante exercée par l'homme sur les sols, le Ministère en charge de l'écologie a initié depuis 1998 un programme de recherche GESSOL – Fonctions environnementales et gestion du patrimoine sol (<http://www.gessol.fr>). Ce programme a pour objectifs de fournir aux décideurs publics des outils opérationnels pour évaluer, surveiller et gérer les sols naturels, agricoles et/ou urbains. Le projet FAFF (Fonction filtration d'un ouvrage urbain : conséquence sur la formation d'un Anthropol) qui s'insère dans le contexte du programme GESSOL s'est déroulé dans l'Est lyonnais en s'attachant particulièrement à l'étude de sols urbains particuliers : les fonds de bassins d'infiltration d'eaux pluviales.

La construction et l'aménagement peuvent en effet avoir des conséquences irréversibles sur la durabilité des sols ; l'effet qui en découle, le plus souvent, est une imperméabilisation et un ruissellement important que l'on peut compenser par des systèmes d'assainissement d'eaux pluviales. La gestion de l'eau en sites urbains vise alors conjointement trois objectifs : limiter les risques d'inondation, limiter les risques de pollution et intégrer la gestion des eaux pluviales dans l'aménagement.

Afin de répondre à ces objectifs, les techniques d'infiltration d'eaux pluviales se développent en milieu urbain depuis plusieurs années^[2]. Ces techniques apportent en effet

une réponse à la problématique de gestion des eaux pluviales en ville, tout en permettant l'aménagement du territoire et l'urbanisation. Plus précisément, ces aménagements peuvent participer à l'amélioration du cadre de vie, à la participation et à l'éducation environnementale du citoyen, à la maîtrise des risques d'inondation et des risques environnementaux et à l'optimisation des coûts.

Les bassins d'infiltration d'eaux pluviales en milieu urbain peuvent constituer un choix d'aménagement privilégié (réseau peu dense, emprise foncière ponctuelle, infiltration de grandes quantités d'eau, etc.). Néanmoins, les particules organiques et minérales entraînées par les eaux de ruissellement et déposées en surface de ces bassins contiennent des teneurs en polluants significatives. La « fonction épuratrice » basée sur la « fonction filtration » de la couche de surface des bassins d'infiltration est souvent mise en avant : cette couche constitue un filtre physique (réten-tion de particules) et chimique (adsorption des polluants par exemple) pour les eaux s'infiltrant en direction des nappes d'eaux souterraines. Cependant, en s'infiltrant, les polluants contenus dans les eaux pluviales peuvent se retrouver dans les premiers mètres du sous-sol. Actuellement, peu de travaux se sont focalisés sur la caractérisa-tion de ce type de sol et encore moins sur sa fonction filtration. **Ce document de recommandations à l'usage des gestionnaires a pour but de présenter les enseignements opérationnels issus du projet GESSOL-FAFF relatifs à la gestion adaptée et optimisée de la fonction filtration de la surface des bassins d'infiltration.**

1. Projet de directive-cadre sur la protection des sols.

2. Pour la gestion des eaux pluviales, Stratégie et solutions techniques (Région Rhône-Alpes, 2006).

II. Généralités sur les ouvrages d'infiltration

1. Principes de fonctionnement

Les ouvrages d'infiltration sont des techniques alternatives d'assainissement pluvial*, complétant ou se substituant aux techniques d'assainissement classiques par collecteurs. Le principe de fonctionnement de ces ouvrages est de recueillir et stocker temporairement les eaux pluviales collectées, et de les restituer au milieu naturel, en totalité ou seulement en partie, à travers le sous-sol et non vers un exutoire de surface. L'intérêt de ces ouvrages est double :

- ils jouent un rôle essentiel dans la gestion des eaux pluviales en contribuant à réduire le volume d'eau entrant dans les collecteurs,
- ils favorisent la recharge de nappes souterraines.

Le principe de fonctionnement de ces ouvrages consiste tout d'abord à collecter les eaux de ruissellement lors d'événements pluvieux. Les eaux pluviales s'infiltrent ensuite progressivement dans le sous-sol à travers la zone non-saturée* en eau, à une vitesse qui dépend notamment de la perméabilité* du milieu, puis rejoignent les nappes d'eaux souterraines. L'infiltration à travers cette zone est primordiale car elle peut assurer une fonction épuratrice permettant de réduire la charge polluante véhiculée par ces eaux avant que celles-ci ne rejoignent la nappe. **La zone non-saturée du sous-sol, ou ZNS, joue ainsi un rôle de**

filtre. Certains ouvrages, comme les bassins d'infiltration présentés sur la figure 1, sont précédés d'ouvrages de traitement préalable des eaux pluviales (ouvrage de stockage/décantation ou déshuileur, etc.) permettant de limiter la quantité de polluants entrant dans les ouvrages.

Les ouvrages d'infiltration sont de nature diverse : bassins d'infiltration*, puits d'infiltration*, tranchées drainantes*, fossés et noues d'infiltration*, chaussées à structure réservoir avec revêtement poreux*.

La figure 2 présente le principe des différentes techniques d'infiltration d'eaux pluviales, et introduit la terminologie utilisée dans ce document.

En milieu urbain, le recours à des techniques alternatives d'infiltration des eaux pluviales vise donc à favoriser l'infiltration au profit du ruissellement, avec le souci d'assurer toujours la meilleure intégration paysagère possible.

À LIRE

Guide technique *L'infiltrations en questions. Recommandations pour la faisabilité, la conception et la gestion des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales en milieu urbain*, GRAIE, 2009.

* Pour chaque mot suivi d'un astérisque, voir le glossaire page 30.

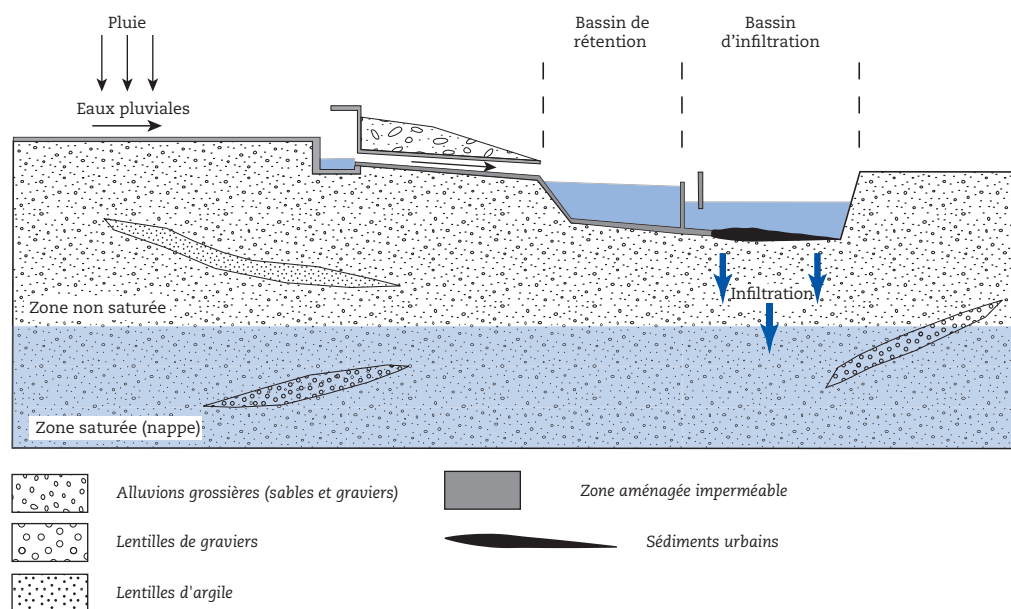


Figure 1 Schéma de principe : exemple d'un bassin d'infiltration précédé d'un bassin de rétention/décantation

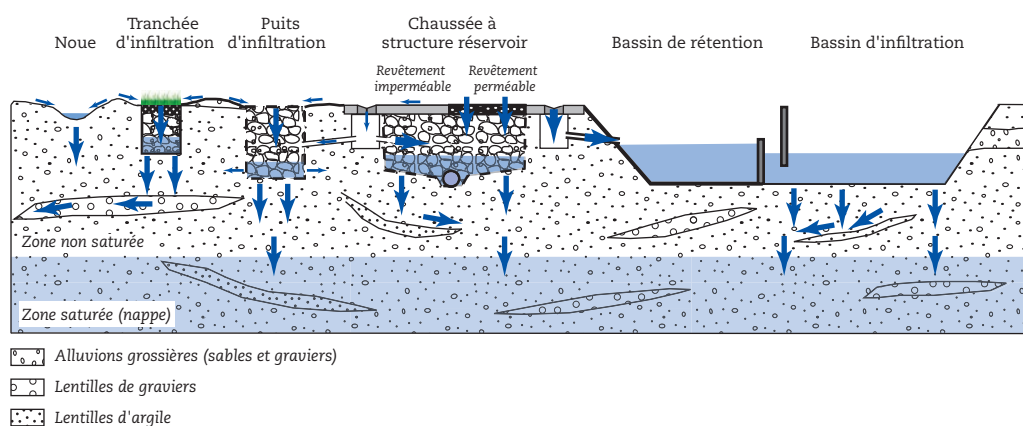


Figure 2 Typologie de différentes techniques alternatives d'assainissement par infiltration : noue, tranchée d'infiltration, puits d'infiltration, chaussée à structure réservoir, bassin d'infiltration précédé d'un bassin de rétention.

2. Réglementation

La collecte, le transport, le stockage et le traitement des eaux pluviales constituent un service public administratif relevant des communes selon le code général des collectivités territoriales.

À l'échelle communale ou intercommunale, la politique de gestion des eaux pluviales peut être déclinée à travers différents outils réglementaires, relevant aussi bien de la gestion de l'eau que de l'urbanisme. Parmi ces outils, le zonage pluvial et le Plan Local d'Urbanisme (PLU) peuvent ainsi contenir des prescriptions en matière de gestion des eaux pluviales. Le zonage pluvial permet de fixer des prescriptions (aspects quantitatifs et qualitatifs), comme par exemple la limitation des rejets dans les réseaux (voire un rejet nul dans certains secteurs), un principe technique de gestion des eaux pluviales (infiltration, stockage temporaire), d'éventuelles prescriptions de traitement des eaux pluviales à mettre en œuvre, etc. Il peut être établi dans le cadre d'un schéma directeur de gestion des eaux pluviales. Le zonage n'aura de valeur juridique qu'après la tenue d'une enquête publique, l'approbation par la collectivité compétente et sa validation par arrêté. Le zonage peut être repris dans le règlement du PLU, ce qui permet de renforcer son poids. L'élaboration du zonage pluvial et du PLU sont deux démarches à conduire simultanément (GRAIE, 2014).

Les documents d'urbanisme élaborés à l'échelle des collectivités doivent être compatibles avec les objectifs qualitatifs et quantitatifs des eaux superficielles et souterraines définis à une échelle plus

large par le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE), ainsi qu'avec les objectifs de protection définis par le Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE), lorsqu'un tel schéma est approuvé sur le territoire. Ces schémas déclinent, à l'échelle des bassins hydrographiques pour les SDAGE, et des masses d'eau pour les SAGE, les objectifs d'atteinte du bon état écologique des masses d'eau (apprécié en fonction de la qualité chimique et de la quantité d'eau pour les eaux souterraines) et la non-dégradation de leur état actuel définis par la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) du 23 octobre 2000. Les rejets de temps de pluie, compte-tenu de la charge polluante qu'ils véhiculent (matières en suspension, métaux lourds, hydrocarbures, micropolluants...) peuvent générer des dégradations momentanées ou durables des milieux récepteurs, et impacter la qualité de la ressource en eau. Plusieurs dispositions des SDAGE et des SAGE peuvent ainsi concerner la gestion des eaux pluviales au titre par exemple de la préservation des milieux (GRAIE, 2014).

Pour les projets de taille importante, il est nécessaire de vérifier s'ils relèvent d'une procédure de déclaration ou de demande d'autorisation auprès des services de l'État en charge de la Police de l'Eau. Les ouvrages d'infiltration sont susceptibles de relever des rubriques suivantes de la nomenclature définie par l'article R. 214-1 du Code de l'Environnement:

■ **rubrique 2.1.5.0:** rejet d'eaux pluviales dans les eaux douces superficielles ou sur le

sol ou dans le sous-sol, la surface totale du projet, augmentée de la surface correspondant à la partie du bassin versant naturel dont les écoulements sont interceptés par le projet, étant :

- ▀ supérieure ou égale à 20 ha : ouvrage soumis à autorisation (A)
- ▀ supérieure à 1 ha, mais inférieure à 20 ha : ouvrage soumis à déclaration (D)
- **rubrique 3.2.3.0 :** plans d'eau, permanents ou non :
 - ▀ dont la superficie est supérieure ou égale à 3 ha : ouvrage soumis à autorisation (A)
 - ▀ dont la superficie est supérieure à 0,1 ha mais inférieure à 3 ha : ouvrage soumis à déclaration (D)
- **rubrique 3.2.5.0 :** barrages de retenue et digues de canaux :
 - ▀ de classe A, B ou C : ouvrage soumis à autorisation (A)
 - ▀ de classe D : ouvrage soumis à déclaration (D)

Est concerné par l'élaboration d'un dossier Loi sur l'Eau à destination des services de l'État tout maître d'ouvrage, public ou privé, dont le projet d'aménagement dépasse les seuils ci-dessus. Les rejets sur le sol ou dans le sous-sol concernent quant à eux les rejets dans des fossés, thalwegs secs ou dans tout ouvrage d'infiltration des eaux pluviales. La rubrique 2.1.5.0 ne couvre ni les rejets en mer, ni les rejets dans les systèmes d'assainissement (canalisations enterrées, fossés bétonnés). Dans le cas d'un rejet dans un réseau d'assainissement, d'autres démarches administratives sont nécessaires (MEDDE et Cerema, 2014).

Enfin, la gestion des eaux pluviales, et plus largement le recours aux techniques alternatives d'assainissement, relèvent d'autres réglementations qui ne sont pas détaillées dans ce document (Code de l'Urbanisme, Code Civil, Code de l'Environnement : dispositions relatives aux plans de prévention du risque inondation et dispositions applicables aux installations classées pour la protection de l'environnement, code de la santé publique, code de la voirie routière, code rural).



SUR LA RÉGLEMENTATION ASSOCIÉE À LA GESTION DES EAUX PLUVIALES

- CERTU(2008), *L'assainissement pluvial intégré dans l'aménagement. Éléments-clés pour le recours aux techniques alternatives* ;
- Cerema (2014), *Procédures d'autorisation et de déclaration des projets d'aménagement au titre du Code de l'Environnement*. Rubrique 2.1.5.0, Rejets d'eaux pluviales. <http://www.assainissement.developpement-durable.gouv.fr/documents> ;
- GRAIE (2014), *Guide pour la prise en compte des eaux pluviales dans les documents de planification et d'urbanisme* http://www.graie.org/graie/graiedoc/doc_telech/guideepurba.pdf ;
- le portail d'information sur l'assainissement communal du MEDDE, <http://assainissement.developpement-durable.gouv.fr/pluvial.php>.

3. Fonctions assurées par les ouvrages d'infiltration

Les ouvrages d'infiltration peuvent assurer plusieurs fonctions : rétention temporaire des eaux pluviales, infiltration des eaux pluviales et recharge des nappes d'eaux souterraines, filtration, fonction paysagère et de loisirs (voir figure 3).

Rétention (stockage temporaire des eaux pluviales)

Les ouvrages d'infiltration jouent tout d'abord un rôle de rétention, en stockant temporairement les eaux pluviales. Ce sont donc des ouvrages régulateurs, permettant de limiter le volume d'eaux pluviales transitant dans les collecteurs.

Infiltration

Ces ouvrages ont un rôle principal d'infiltration des eaux pluviales : la vidange des ouvrages s'effectue vers le sous-sol, et non vers un exutoire de surface.

Filtration

Les ouvrages d'infiltration sont le lieu d'infiltration des eaux collectées sur la voirie et les surfaces urbanisées des bassins versants urbains et péri-urbains. Les sols récepteurs sont donc soumis à un apport de matières et de polluants dépendant des caractéristiques des eaux collectées. L'origine des polluants dans les bassins versants urbains est variée et d'une manière générale, les eaux de ruissellement des chaussées urbaines et autoroutières sont chargées en contaminants tels que des métaux lourds, des

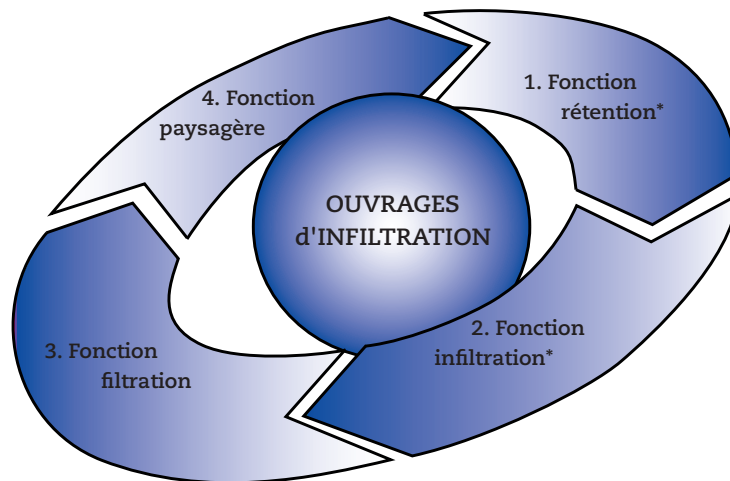
hydrocarbures, des sels de déverglçage, des pesticides, etc.

Au début de l'exploitation d'un ouvrage, divers processus participant au rôle de filtration interviennent. Ces processus peuvent être physiques (filtration*, dispersion*), chimiques (oxydoréduction*, adsorption*, précipitation*) et biologiques (biodégradation*). Ces processus limitent le transfert de contaminants à travers la zone non-saturée et jusqu'à la nappe. Cependant, au cours du temps, ce rôle de filtration atteint des limites du fait de la modification des propriétés de rétention des sols récepteurs. L'infiltration des eaux pluviales dans les sols représente donc un risque non négligeable de contamination de la zone non-saturée sous-jacente aux ouvrages, ainsi que de la nappe phréatique.

Par ailleurs, ces ouvrages accumulent au cours du temps une couche sédimentaire en surface, formant progressivement un sol qui accumule au cours du temps différents types de contaminants. La capacité de ces ouvrages à infiltrer (fonction infiltration) et épurer les eaux pluviales (fonction filtration) peuvent ainsi évoluer au cours du temps.

Fonction paysagère et de loisirs

Certains ouvrages peuvent être conçus comme des ouvrages à vocation mixte assainissement/loisirs (voir figure 4). Le fait que ces ouvrages aient un usage secondaire permet à un gestionnaire de garantir l'entretien de ces ouvrages et donc d'en assurer la pérennité, et permet également de rentabiliser le coût des acquisitions foncières.



1. Fonction de régulation : stockage temporaire des eaux pluviales, permettant de limiter le volume d'eaux pluviales transitant dans les collecteurs.
* volume stocké calculé à partir d'un épisode pluvieux de période de retour et de durée données.
2. Fonction principale d'infiltration des eaux pluviales : la vidange des ouvrages s'effectue vers le sous-sol, et non vers un exutoire de surface.
* débit de fuite estimé à partir de l'évaluation de la capacité d'infiltration du sous-sol.
3. Fonction épuratrice permettant de réduire la charge polluante véhiculée par les eaux pluviales avant que celles-ci ne rejoignent la nappe.
4. Ouvrages à vocation mixte assainissement-loisirs, permettant à un gestionnaire de garantir l'entretien de ses ouvrages et donc d'en assurer la pérennité.

Figure 3 Fonctions assurées par un ouvrage d'infiltration



Figure 4 Intégration paysagère d'un bassin d'infiltration.
Bassin Minerve, Saint-Priest, Rhône ; crédit photo OTHU.

III. Prise en compte de la zone non-saturée dans la conception et le dimensionnement

1. Règles générales de conception et de dimensionnement

Préalablement à la réalisation d'un ouvrage d'infiltration, des études de conception et de dimensionnement doivent être réalisées (voir figure 5). Les études généralement réalisées sont rappelées brièvement ci-dessous.

Définition des objectifs

Le dimensionnement d'un système de gestion des eaux pluviales est effectué à partir d'un événement pluvieux de référence, caractérisé par la période de retour* et la durée des précipitations retenues. C'est au gestionnaire que revient la décision de l'objectif de protection (événement pluvieux contre lequel on veut se prémunir). Le choix de l'événement de référence peut s'effectuer en application de la norme NF EN 752-2 (voir tableau 1).

Topographie

L'étude de la topographie du site (limites générales et forme du bassin versant, identification du réseau hydrographique et des systèmes d'assainissement existant, positionnement des zones urbanisées, pente moyenne et couverture végétale, etc.) constitue la première étape à réaliser afin de vérifier la faisabilité du projet. Pour les bassins d'infiltration, l'évaluation de la faisabilité s'effectue :

- en fonction des cotes de fil d'eau des collecteurs d'eaux pluviales alimentant le bassin,
- par évaluation de la capacité de stockage pour différentes cotes du niveau de l'eau, et pour plusieurs implantations de la digue si elle est prévue,
- par évaluation des volumes de terrassements nécessaires.

Études géotechniques

Les études géotechniques ont pour objectif d'apprécier la faisabilité de l'infiltration. Elles ont notamment pour objectif de caractériser la capacité d'absorption du sous-sol, et nécessitent par conséquent la réalisation d'investigations si aucune donnée n'est disponible sur la perméabilité* du sous-sol



SUR LE DIMENSIONNEMENT

Des précisions sur le dimensionnement des ouvrages d'infiltration peuvent notamment être trouvées dans l'ouvrage *La ville et son assainissement* (Certu, 2003).

et la profondeur de la nappe. Elles doivent être réalisées conformément à la norme NF P94-500 relative aux missions d'ingénierie géotechnique.

Hydrologie

Les études hydrologiques permettent de calculer les apports en eau du bassin versant et le volume d'eau à stocker avant infiltration.

Étude de qualité des eaux

Cette étude permet d'identifier les dispositifs nécessaires pour traiter les eaux pluviales avant infiltration. Les bassins d'infiltration sont généralement précédés d'ouvrages de rétention/décantation*, permettant de limiter l'apport en Matière En Suspension (MES) et par conséquent la pollution particulière. D'autres dispositifs peuvent être envisagés (cloisons siphonides*, séparateurs à hydrocarbures*).

+ SUR LA FLORE

Des graines sont disséminées à la surface des bassins d'infiltration par l'action du vent et des arrivées d'eau. Ces surfaces découvertes mettent alors à leur disposition de la lumière et des apports hydriques, et les eaux pluviales sont une source non négligeable de nutriments. Les bassins d'infiltration en milieu urbain sont donc des milieux spontanément colonisés par les plantes.

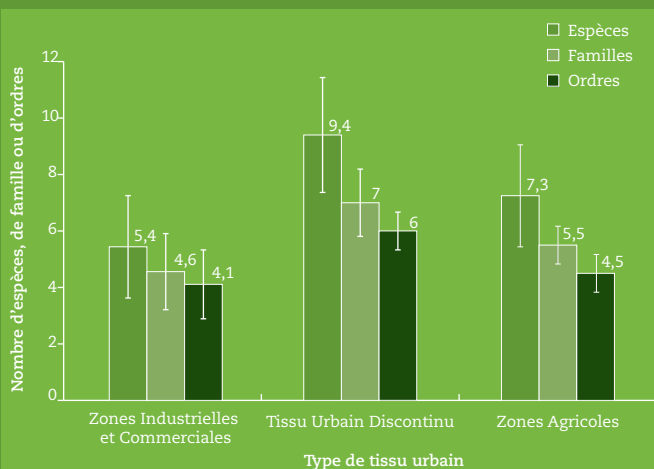
Le facteur principal favorisant le développement de la flore dans ces systèmes artificiels est l'eau et sa disponibilité. Les bassins d'infiltration de l'Est lyonnais étudiés lors du projet FAFF présentent une grande hétérogénéité, tant au niveau de la surface d'occupation (de 5 à 95%) qu'au niveau de la diversité des espèces présentes (voir graphique ci-dessous). Les espèces

dominantes sont les espèces ubiquistes *Rumex sp.*, *Taraxacum sp.* et *Artemisia sp.*

La présence d'espèces plus rares est quant à elle influencée par des facteurs externes :

- la nature de l'environnement : agricole et urbain (*Galium mollugo* est par exemple caractéristique des milieux eutrophiques azotés),
- l'épaisseur de sédiments (au moins vingt centimètres pour *Iris pseudacorus*),
- les caractéristiques du substratum géologique associées aux caractéristiques physico-chimiques du sol (espèces nitrophiles).

L'intervention de l'homme, à travers les différentes opérations de gestion joue également un rôle important sur la diversité observée. De plus, la présence de polluants peut exercer une pression sélective.



Nombre d'espèces, de familles et d'ordres en fonction du type de tissu urbain.



Photo ci-dessus : *Artemisia* (J.L. Gorremans) et ci-dessous : *Galium mollugo* (A. Bigou).



Pour tout projet d'ouvrage d'infiltration, la profondeur de la nappe, et par conséquent l'épaisseur de la zone non-saturée*, est une information primordiale à connaître, du fait de son rôle supposé épuratoire. Le fascicule 70 du Cahier des Clauses Techniques Générales (CCTG), précisant les règles de conception et de dimensionnement des ouvrages d'assainissement, ne donne aucune préconisation relative à l'épaisseur minimale de zone non-saturée* à prendre en compte. Les recommandations portent uniquement sur les niveaux de nappe pour un projet d'ouvrage d'assainissement : il est nécessaire de considérer le niveau piézométrique* maximal pour les études de conception et de dimensionnement. Cela nécessite de disposer d'un suivi du niveau piézométrique* au droit du projet d'au moins un an, afin de connaître les fluctuations de la nappe et par conséquent son niveau maximal.

Au sein de la zone non-saturée*, divers processus participant au rôle de filtration interviennent. Ces processus peuvent être physiques (filtration*, dispersion*), chimiques (oxydoréduction*, adsorption*, précipitation*) et biologiques (biodégradation*). Ils limitent le transfert de contaminants ; une épaisseur minimale de zone non-saturée* est donc nécessaire.

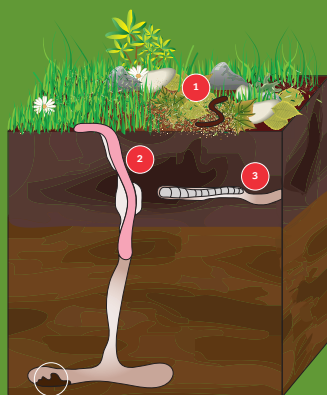
Les préconisations relatives à l'épaisseur minimale de la zone non-saturée* à conserver au droit d'un ouvrage d'infiltration sont à rechercher à travers différents documents techniques traitant de la gestion des eaux pluviales. Ces préconisations sont très diverses. Le tableau 2, non exhaustif, répertorie les différentes épaisseurs préconisées dans la littérature.

L'épaisseur minimale de zone non-saturée* recommandée varie de 1 à 2 m. Cette profondeur est préconisée de façon systématique, et ne prend pas en compte la structure et la nature du sous-sol.

+ SUR LA FAUNE

Les lombrics jouent un rôle important dans le développement des sols, les cycles biogéochimiques et la croissance végétale. Ils participent à la fragmentation, l'enfouissement et le brassage de la Matière Organique. Leurs galeries influent quant à elles sur les écoulements d'eau, et par là même sur la mobilité des polluants. Parmi les trois principaux taxons (voir figure ci-dessous) : aucune espèce Anécique n'a été observée. En revanche, les abondances en Épigés et Endogés sont très variables : de 300 vers de terre par mètre carré à

aucun ! Cette abondance est croissante avec l'épaisseur de sédiment : plus on se rapproche de l'arrivée d'eau, plus cette épaisseur est importante, et plus le nombre de vers de terre au mètre carré augmente. Les proportions entre ces deux espèces diffèrent selon le bassin (à épaisseur de sédiment et végétation équivalentes) : l'origine des eaux pluviales (milieu urbain ou milieu industriel) peut donc avoir un impact sur la diversité observée. Pour plus de renseignements : http://ecobiosoil.univ-rennes1.fr/OPVT_accueil.php



1. **Épigés** : Petits (1 à 5 cm), de couleur sombre, ils vivent en surface dans les amas organiques et participent activement au fractionnement de la matière organique.
2. **Anéciques** : Espèces les plus grosses (jusqu'à 110 cm), de couleur rouge/brun, ils vivent dans l'ensemble du profil du sol en creusant des galeries permanentes verticales à subverticales ouvertes en surface. Ils brassent et mélangent la matière organique et minérale.
3. **Endogés** : Moyens à grands (1 à 20 cm), faiblement pigmentés, ils vivent dans le sol en creusant des galeries temporaires horizontales et créent une structure grumeleuse qui joue un rôle sur l'infiltration et la rétention de l'eau dans le sol.

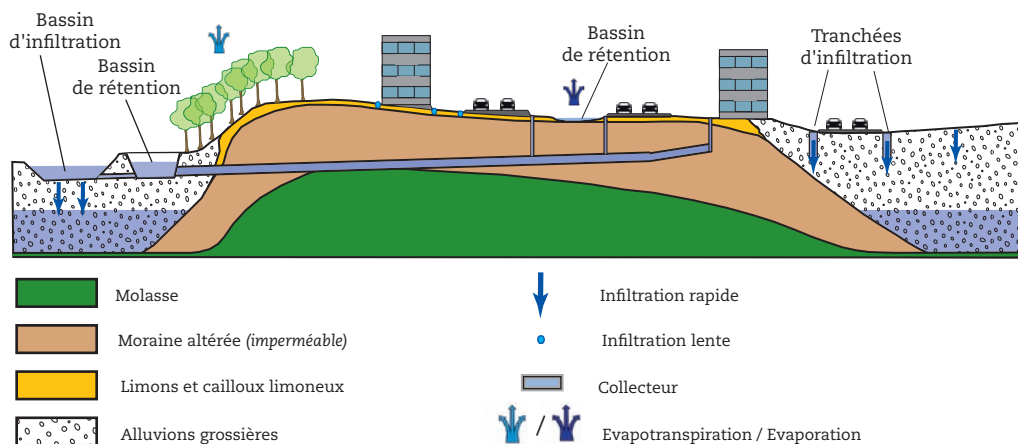


Figure 5 Exemple du projet de parc technologique de la porte des Alpes : prise en compte des contraintes physiques (topographiques et géologiques) dans le système d’assainissement des eaux pluviales (source : Grand Lyon).

Tableau 1 Fréquences recommandées pour les projets (extrait de la norme NF EN 752-2)

Fréquence d'un orage donné* une fois tous les «n» ans	Lieu	Fréquence d'inondation une fois tous les «n» ans
1 par an	Zones rurales	1 tous les 10 ans
1 tous les 2 ans	Zones résidentielles	1 tous les 20 ans
1 tous les 2 ans 1 tous les 5 ans	Centre des villes Zones industrielles ou commerciales : - si le risque d'inondation est vérifié - si le risque d'inondation n'est pas vérifié	1 tous les 30 ans —
1 tous les 10 ans	Passages souterrains routiers ou ferrés	1 tous les 50 ans

* Pour ces orages, aucune mise en charge ne doit se produire

Tableau 2 Préconisations relatives à l'épaisseur minimale de zone non-saturée à conserver au droit d'un ouvrage d'infiltration d'eaux pluviales

Épaisseur minimale de zone non-saturée	Références
«La distance minimale entre la base du puits et les plus hautes eaux de la nappe doit être d'environ 1 m pour assurer une épuration correcte.»	<i>Techniques alternatives en assainissement pluvial</i> (Azzout et al.,1994).
«[...] plus haut niveau de la nappe à plus de 1,20 m du fond du bassin.»	<i>Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement</i> (Chocat, 1996).
«Pour infiltrer de l'eau, il est donc indispensable d'avoir [...] une épaisseur non-saturée suffisante pour que les phénomènes de filtration et de biodégradation puissent épurer efficacement l'eau avant qu'elle ne rejoigne la nappe. En première approche, une épaisseur de 1 m au-dessus du niveau le plus haut de la nappe paraît un minimum. On évitera systématiquement les zones karstiques et fissurées.»	<i>La ville et son assainissement. Principes, méthodes et outils pour une meilleure intégration dans le cycle de l'eau</i> (Certu, 2003).
«Il est conseillé de conserver une épaisseur de 1 m à 1,50 m de matériaux non saturés au-dessus de la nappe.»	<i>Guide méthodologique pour la prise en compte des eaux pluviales dans les projets d'aménagement</i> (MISEs de la région des Pays de la Loire, juin 2004).
«Une zone de sol non-saturée de 2 m doit être conservée entre le niveau des plus hautes eaux de la nappe et le fond de l'ouvrage.»	Fiche technique n°05 du Grand Lyon – Bassins de rétention/infiltration.
«Une épaisseur minimale de 2 m est fixée entre le toit de la nappe et la fond de la structure permettant l'infiltration. Cette épaisseur peut être ramenée à 1 m en centre urbain dense pour l'infiltration des eaux de toiture.»	Fiche technique n°00 du Grand Lyon – Méthode pour le dimensionnement des ouvrages de stockage.
«Le niveau des plus hautes eaux de la nappe est un paramètre important pour plusieurs raisons. Une nappe peu profonde peut réduire la profondeur utile de l'ouvrage et corrélativement les volumes de stockage. Elle risque par ailleurs d'être très facilement contaminée par une pollution chronique ou accidentelle avec limitation des mécanismes de rétention capillaire, de filtration et de dégradation dans la zone non saturée du sol rendue peu épaisse. [...] Une nappe est considérée comme peu profonde par rapport à l'ouvrage si le niveau piézométrique des plus hautes eaux est situé à moins de 1 m du fond de la future structure.»	<i>L'infiltration en question – Recommandations pour la faisabilité, la conception et la gestion des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales en milieu urbain</i> (GRAIE, 2009).

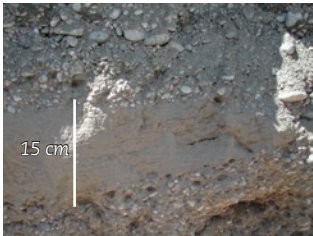
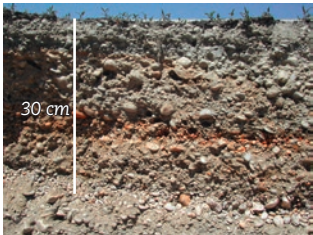
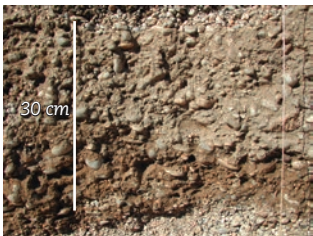
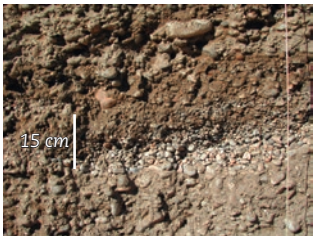
2. L'effet de la structure du sous-sol

Les sous-sols de bassins d'infiltration construits au sein de formations alluvionnaires sont souvent considérés comme un milieu de structure homogène. À l'encontre de cet *a priori*, le projet GESSOL-FAFF a souligné leur caractère fortement hétérogène. Les dépôts alluvionnaires qui constituent la zone non-saturée* présentent en effet une grande hétérogénéité, tant au niveau des lithofaciès* en place qu'au niveau des unités structurales.

L'approche sédimentologique classique ne comporte pas de caractère obligatoire ; dans le tableau 3, les informations recueillies dans le cadre du projet FAFF sont comparées aux classifications des sols du Guide des Terrassements Routiers (GTR).

Dans l'Est lyonnais, une typologie de quatre lithofaciès* a été mise en évidence, dont un majoritaire : les graviers sableux.

Tableau 3 Caractéristiques lithologiques des quatre lithofaciès de l'Est lyonnais et leur correspondance dans le Guide des Terrassements Routiers (GTR)

	Photo	Caractéristiques lithologiques	Correspondance GTR
Faciès 1		Sables moyens, pauvrement à bien classés, de grain moyen 325 ± 43 µm, sans matrice silteuse ou argileuse, laminations internes planes ou inclinées correspondant aux phases de dépôt des sables.	B1
Faciès 2		Mélange sablo-graveleux (de sables fins à graviers grossiers, les graviers étant prépondérants), généralement présent dans les 30 premiers centimètres sous la surface du bassin.	B3
Faciès 3		Mélange sablo-argileux présentant un mode grossier (graviers moyens à grossiers) et un mode sableux (matrice de sables moyens, 325 µm).	B3
Faciès 4		Graviers sans matrice sableuse, assez bien à bien classés, de taille centimétrique pour les plus grossiers, sous la forme de lentilles progradantes ou de fines couches subhorizontales.	B3

La description d'une tranchée réalisée dans un bassin de l'Est lyonnais (Django Reinhardt situé sur la commune de Chassieu) permet d'illustrer la répartition de ces lithofaciès* (voir figure 6).

Une centaine de prélèvements a été réalisée, puis analysée en laboratoire (Éléments Traces Métalliques, Matière Organique, etc.). L'analyse croisée des résultats (Matière Organique et Cuivre) avec la structure sédimentaire met en évidence l'impact des hétérogénéités sur la répartition des polluants (voir figure 7).

La couche de surface présente un pic de concentration en cuivre et en Matière Organique (avec dépassement de la valeur du fond géochimique). Les concentrations augmentent à nouveau au niveau de la lentille de sable, alors que les graviers ne semblent pas avoir été fortement contaminés. L'observation de deux autres contaminants métalliques, le plomb et le zinc, amènent aux mêmes conclusions. Les hétérogénéités entraînent des écoulements préférentiels qui peuvent expliquer ce type de phénomènes.

L'eau entraîne des éléments d'origine anthropique (Éléments Traces Métalliques et Matière Organique) dans le dépôt sédimentaire naturel: il y a anthropisation du filtre (zone non-saturée). Ce phénomène n'est pas uniforme mais peut être influencée par la nature hétérogène de la zone non-saturée*.

Recommandations

En phase de conception d'un ouvrage d'infiltration, il est préconisé de considérer un critère supplémentaire de dimensionnement relatif à l'épaisseur minimale de la zone non-saturée.

À l'épaisseur nominale minimale de 1 m, des coefficients pondérateurs défavorables peuvent être appliqués en fonction des caractéristiques de la formation en place.

Ces coefficients pondérateurs doivent prendre en compte à minima:

- L'hétérogénéité de la formation en place (point abordé de façon plus détaillée dans la partie suivante),
- La présence de végétaux en surface des ouvrages d'infiltration,
- La nature géochimique de la formation en place. À titre d'exemple, les sols carbonatés* assurent une bonne rétention des Éléments Traces Métalliques.

Dans le cas où les observations de terrain ne permettent pas d'obtenir ces coefficients pondérateurs, et afin de limiter les phénomènes d'écoulements préférentiels, il est préconisé de favoriser sur les premières dizaines de centimètres des écoulements homogènes. Plusieurs solutions peuvent être préconisées:

- une homogénéisation des premiers centimètres du sous-sol par passage d'un engin mécanique,
- la mise en place en surface d'un matériau homogène (de granulométrie hétérométrique, comportant une fraction majoritaire de sables), de nature carbonatée* dans la mesure du possible, éventuellement mise en place sur un géotextile*.

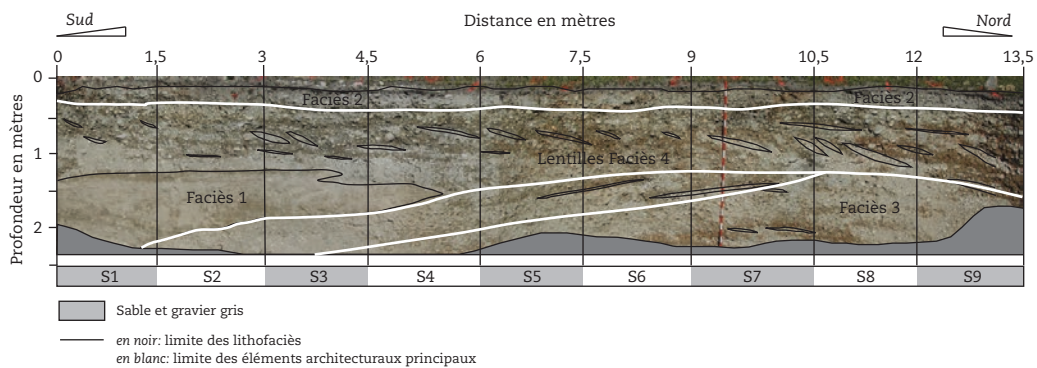


Figure 6 Interprétation d'une paroi d'excavation (bassin de Django Reinhardt) aux échelles du lithofaciès et de l'élément architectural.

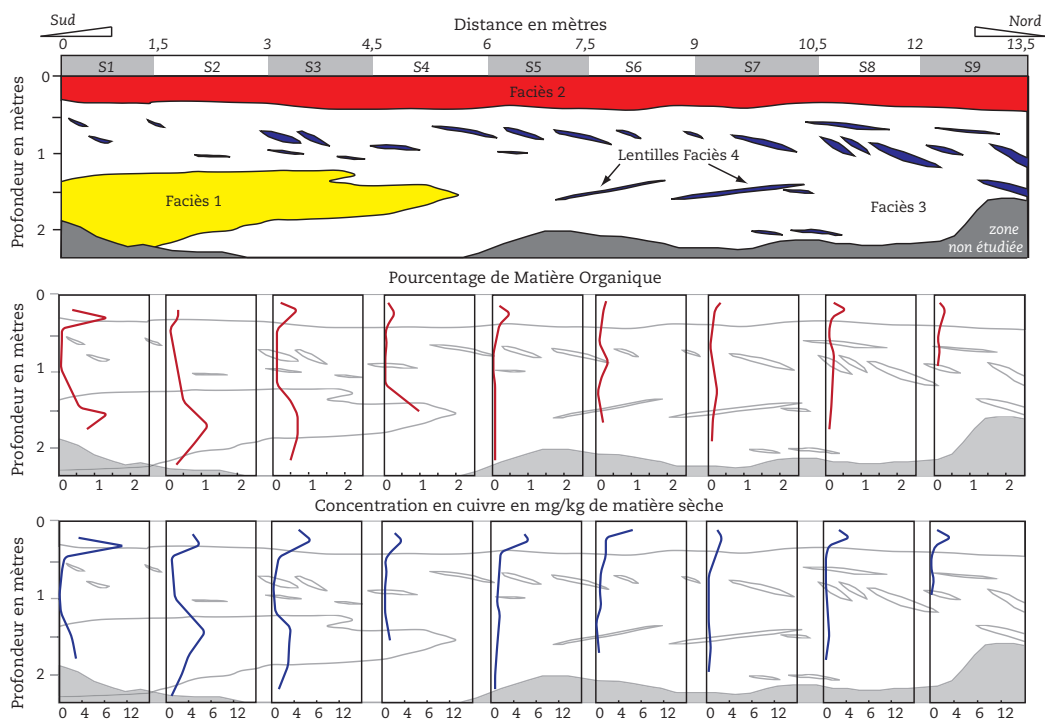


Figure 7 Pourcentages de Matière Organique et concentrations en cuivre (mg/kg de matière sèche) par section et en fonction de la profondeur.

IV. Caractérisation du sous-sol

1. Études de faisabilité géotechnique

Les règles de conception et de dimensionnement des ouvrages d'infiltration imposent la réalisation d'études géotechniques et hydrogéologiques, dont l'objectif est d'apprécier la faisabilité de réalisation d'un ouvrage et de valider les esquisses de conception. Ces études permettent principalement de caractériser la capacité d'absorption du sous-sol, et de définir si les matériaux du sol conviennent pour une bonne stabilité des talus et des digues réalisées en remblai.

Ces études doivent être effectuées selon la norme NF P94-500 (dernière révision de novembre 2013) relative aux missions d'ingénierie géotechnique, en précisant leur contenu et leurs limites ainsi que leur enchaînement en lien avec les missions de maîtrise d'œuvre.

Les études de faisabilité géotechniques et hydrogéologiques préalables à la réalisation d'un ouvrage d'infiltration se décomposent en 2 phases distinctes :

- **Étude géotechnique préalable** (G1 au sens de la norme NF P94-500),

- **Étude géotechnique de conception** (G2 au sens de la norme NF P94-500).

L'étude G1 doit permettre de déterminer la présence ou non d'horizons *a priori* perméables, ce qui orientera (i) les reconnaissances ultérieures et (ii) le choix des types d'ouvrages d'infiltration.

La faisabilité de l'infiltration dépend de trois caractéristiques (Certu, 2003) :

- la nature et la quantité de substances véhiculées par les eaux de ruissellement, elles-mêmes liées aux usages des surfaces drainées,

- les caractéristiques de la zone non-saturée* où s'effectuera l'infiltration, notamment son épaisseur, sa perméabilité*, et son hétérogénéité,

- les caractéristiques de la nappe : son importance, ses fluctuations saisonnières, la cote de son plus haut niveau, le sens et la vitesse de son écoulement, ses usages, sa qualité et sa vulnérabilité.

La grande majorité des communes de France est située sur des formations géologiques de type alluvionnaire. Ces formations, constituées généralement de galets, de graviers, de sables, ainsi que d'une fraction plus ou moins importante d'argiles et limons, sont hétérogènes par nature. Elles peuvent avoir des épaisseurs de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres, et se présentent souvent sous forme lenticulaire.



SUR LES RÈGLES DE CONCEPTION ET DE DIMENSIONNEMENT

- Fascicule 70, Ouvrages d'assainissement – Titre II – Ouvrages de recueil, de stockage et de restitution des eaux pluviales du Cahier des Clauses Techniques Générales (CCTG).
- Guide « La ville et son assainissement » (Certu, 2003)
- Guide « L'infiltration en questions » (GRAIE, 2009)

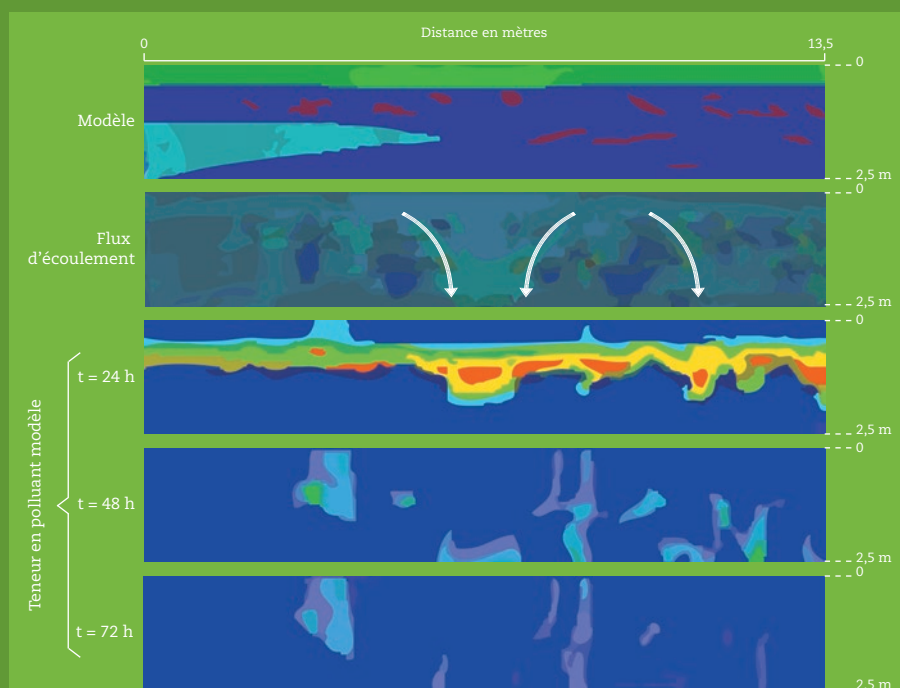
+ SUR LA MODÉLISATION

Dans le cadre du projet GESSOL-FAFF, les résultats obtenus au niveau de la tranchée réalisée dans le bassin d'infiltration de référence ont été confrontés à des résultats de modélisation numérique. Celle-ci permet (I) de visualiser les écoulements préférentiels principaux et (II) de coupler ces derniers avec les mécanismes de transfert réactif afin de quantifier les teneurs en polluants.

Les résultats proposés dans la figure ci-dessous illustrent l'influence des hétérogénéités sur les écoulements et le transfert de polluant (les flèches représentent la direction des écoulements préférentiels). On observe un transfert de polluant plus

rapide au niveau des zones d'écoulements préférentiels, et plus lent au niveau des zones d'accumulation d'eau quasi stagnantes. On note qu'au bout de 72h, une partie des polluants reste piégée sous forme dissoute dans la section : on a donc une régionalisation de la pollution ainsi qu'une rétention préférentielle aux interfaces entre les lithofaciès, en accord avec les mesures (voir figure ci-dessous).

Ce sont les modes d'écoulements et en particulier la mise en place des écoulements préférentiels en conditions non saturées qui sont responsables de la régionalisation marquée du transfert des polluants.



Modélisation (24h, 48h et 72h) du flux d'écoulement, des écoulements préférentiels et de la teneur en polluant modèle dans une section d'un bassin d'infiltration de l'Est lyonnais.

L'hétérogénéité texturale (granulométrie) et structurale (lentilles de différente nature) des formations alluvionnaires, implique une hétérogénéité des propriétés hydrodynamiques, notamment des perméabilités. L'hétérogénéité d'un sous-sol, qu'elle soit naturelle (formations alluvionnaires, substratum rocheux fissuré, formations karstifiées) ou anthropique (cavités), peut être responsable de chemins préférentiels d'écoulements souterrains.

En complément à cette hétérogénéité, les différents matériaux constitutifs du sous-sol présentent des capacités de rétention différentielles vis-à-vis des micropolluants. Des « stocks » de polluants provenant de diverses activités peuvent ainsi, à leur tour, devenir des sources de contamination (GRAIE, 2009).

La prise en compte de cette hétérogénéité, très difficile à estimer, n'est abordée que depuis récemment dans la littérature technique. Elle fait appel à de bonnes connaissances géologiques du site. Pour plus de précisions, il est possible de faire des sondages ou des fouilles, mais ces reconnaissances n'apportent qu'une information ponctuelle. Une représentation plus fine du site peut nécessiter le recours à des méthodes de reconnaissance géophysique. Ces dernières permettent d'avoir une vision plus détaillée des terrains et d'en pointer les éventuelles singularités. De plus, une estimation de l'épaisseur de la zone non-saturée* est possible quand on ne dispose pas de piézomètres* à proximité de l'ouvrage (GRAIE, 2009).

2. Caractérisation des hétérogénéités par les méthodes géophysiques : le radar géologique et la tomographie de résistivité électrique

Le radar géologique et la tomographie de résistivité électrique, en mesurant les variations spatiales et temporelles des propriétés physiques du sol, sont deux méthodes géophysiques* qui permettent, lorsque les conditions de mesure sont favorables, de caractériser l'hétérogénéité du sous-sol, aussi bien en 2D qu'en 3D[3].

À l'échelle d'un ouvrage d'infiltration urbain, ces deux méthodes sont les plus adaptées à l'étude de matériaux de faible conductivité électrique (sables et/ou graviers). L'expérience acquise dans le cadre du projet GESSOL-FAFF permet d'illustrer l'utilisation de ces deux techniques.

2. 1. Le radar géologique

Cette méthode requiert de bonnes conditions de propagation du signal électromagnétique, associée généralement à l'absence ou la faible teneur en matériaux de conductivité électrique élevée (matériaux argileux notamment). Ces conditions se retrouvent généralement au sein de formations alluvionnaires grossières. La qualité des résultats est soumise aux conditions de mesure.

Bien que le radar géologique soit une méthode géophysique « à grand rendement » (en terrain dégagé il est possible de réaliser plusieurs centaines de mètres d'acquisition par jour), une acquisition de quelques transects parallèles en surface du bassin

3. Voir Lagabrielle R. (1992), Géophysique appliquée au génie civil. Techniques de l'ingénieur.

d'infiltration est suffisante pour permettre une étude des hétérogénéités du sous-sol. Toutefois, une acquisition réalisée sur un maillage orthogonal selon une grille adaptée à la taille des structures est nécessaire dans le but de proposer un modèle 3D de la répartition spatiale de ces hétérogénéités et leur volume respectif.

La confrontation des mesures avec des observations de terrain (sondages, fouilles à la pelle mécanique, etc.) est fortement recommandée afin d'interpréter au mieux les résultats.

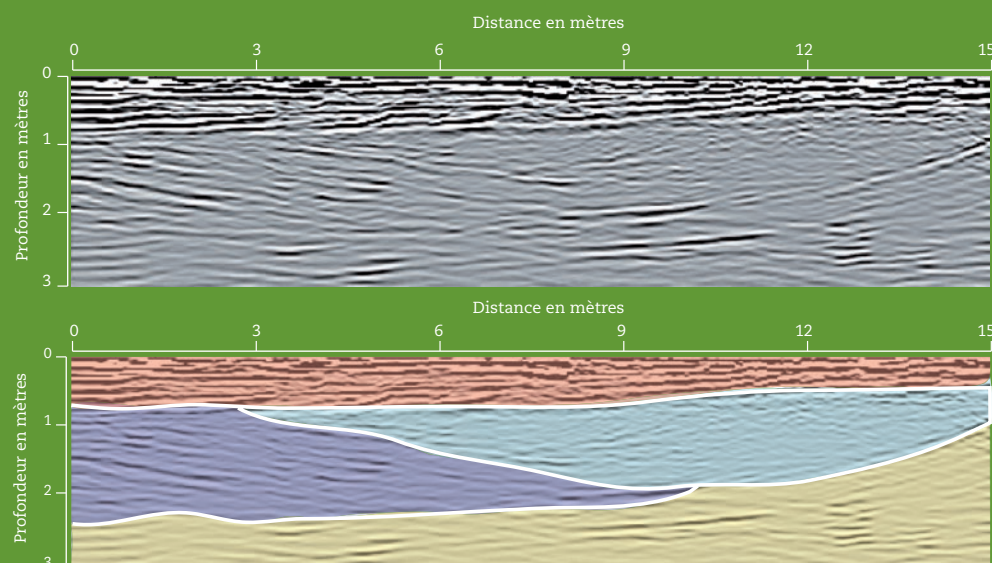
Après un traitement du signal, l'information obtenue sous forme de profil 2D (distance/profondeur) souligne des amplitudes de signal contrastées qui correspondent à des réflecteurs.

Leur interprétation est une étape qui fait appel aux connaissances spécifiques du géophysicien relatives à (I) l'analyse du signal électromagnétique et (II) ses connaissances du milieu investigué. L'analyse des réflecteurs radar permet de fournir une interprétation des structures sédimentaires.

+ SUR LE RADAR GÉOLOGIQUE

Le radar géologique, ou encore *Ground Penetrating Radar (GPR)* est un outil d'investigation géophysique de subsurface, basé sur la propagation des ondes électromagnétiques à des fréquences variant de quelques dizaines de MHz à quelques gigaHertz (ondes radio). De façon générale, un radar géologique est constitué d'une antenne émettrice et d'une antenne réceptrice. Un opérateur déplace les deux antennes à la surface du terrain à investiguer, suivi par un second opérateur avec le système d'acquisition ; cette méthode est non-destructive. La profondeur d'investigation et la

résolution verticale dépendent du choix de la fréquence de l'antenne, qui s'effectue de façon à obtenir le meilleur compromis entre ces deux paramètres (les fréquences les plus communes sont de 400 MHz, 200 MHz et 100 MHz). L'onde électromagnétique générée se propage dans le sous-sol, milieu hétérogène en raison notamment des différences de nature pétrographique des roches, de la granulométrie des éléments, de la teneur en eau, de la compaction, etc. Le radar géologique est donc un outil permettant de déterminer les structures sédimentaires en place dans le sous-sol (voir figure ci-dessous).



Profil radar (antenne de 400 MHz) dans un bassin d'infiltration de l'Est lyonnais creusé dans les formations alluvionnaires ; l'interprétation des réflecteurs permet d'identifier les unités structurales principales.

2. 2. La tomographie de résistivité électrique

La tomographie de résistivité électrique peut être utilisée pour reconnaître les principales structures sédimentaires à une résolution toutefois inférieure à celle du radar géologique. Cette méthode permet également de connaître la profondeur du toit de la nappe, et par conséquent d'estimer l'épaisseur de la zone non saturée*.

Les conditions de mise en œuvre de cette méthode géophysique impliquent que seuls quelques profils peuvent être réalisés en une journée. Contrairement au radar géologique, cette méthode ne permet donc pas de réaliser rapidement une investigation complète d'un site d'étude, mais est utilisée pour reconnaître une zone représentative ou spécifique.

De la même façon que pour le radar géologique, il est fortement recommandé de caler les résultats issus de la tomographie à résistivité électrique sur des observations directes de terrain (sondages, fouilles à la pelle mécanique, piézomètres).

Cette méthode géophysique permet d'obtenir des profils représentant les variations spatiales de résistivités électriques. Pour la reconnaissance des structures sédimentaires, la méthode requiert un fort contraste de propriétés résistives entre les unités structurales à caractériser. Il est à noter que ces contrastes sont d'autant plus forts que les mesures sont réalisées en conditions sèches. Il est alors possible de distinguer des structures sableuses et des structures graveleuses.

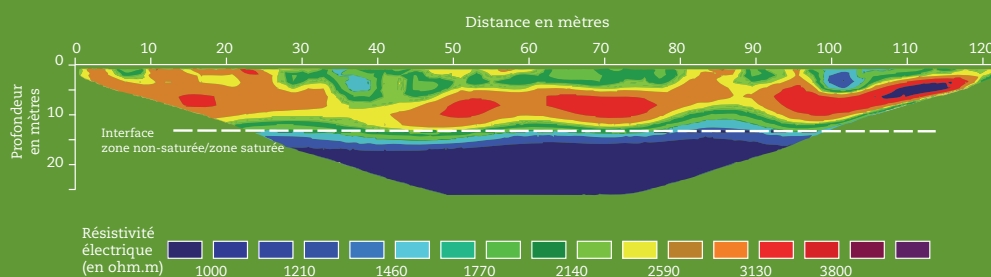
Par ailleurs, cette méthode permet de localiser la profondeur du toit de la nappe en l'absence de piézomètres ; il ne s'agit toutefois que d'une estimation valable le jour de la mesure.

L'utilisation de la tomographie de résistivité électrique peut ainsi être recommandée en phase d'étude géotechnique préalable (G1 au sens de la norme NF P94-500) : les résultats peuvent permettre de donner une indication à la fois sur l'hétérogénéité et la profondeur de la zone non-saturée*.

+ SUR LA TOMOGRAPHIE DE RÉSISTIVITÉ ÉLECTRIQUE

Selon le choix du protocole, la tomographie de résistivité électrique consiste à injecter dans le sol un courant électrique continu entre des électrodes métalliques plantées en surface, et à mesurer la différence de potentiel induite entre d'autres électrodes réparties sur un profil généralement rectiligne. Cette méthode permet d'obtenir des coupes verticales (2D) des résistivités du sous-sol. Il est également possible d'obtenir des blocs de résistivité en 3D, par exemple par acquisition d'une séquence de profils électriques 2D parallèles entre eux.

La résistivité électrique d'un sol dépend essentiellement de la teneur en eau, en argile, et de la conductivité électrique de l'eau interstitielle. La conduction d'un courant électrique se fait principalement par l'eau contenue dans les pores, ou à l'interface entre les minéraux et l'eau des pores. Cette méthode est donc fortement dépendante de l'hétérogénéité d'un dépôt sédimentaire ; elle permet ainsi d'évaluer les unités le constituant.



2. 3. Fiches techniques des deux méthodes géophysiques

Applications du radar géologique

› Principe

Émission en surface d'un champ électromagnétique, recueil du signal réfléchi sur les interfaces en profondeur (voir figures 8 et 9).

› Mise en œuvre

Méthode à « grand rendement » (plusieurs centaines de mètres par jour). Fréquence des antennes à adapter à la profondeur d'investigation souhaitée. À titre indicatif, pour un sous-sol de type alluvionnaire : 100 MHz : ~ 10 m ; 200 MHz : ~ 5 à 6 m ; 400 MHz : ~ 3 à 5 m.

› Avantages

Méthode efficace sur des formations alluvionnaires : les différents réflecteurs sont associés aux interfaces entre les différents lithofaciès, leur analyse permet d'évaluer l'hétérogénéité des formations.

› Limites

Inapproprié en présence de matériaux conducteurs (argiles par exemple), du fait d'une forte absorption du signal par ces matériaux.

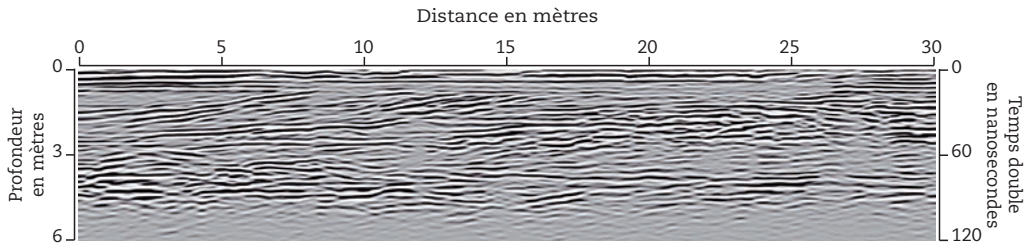


Figure 8 Exemple de profil d'acquisition au radar géologique sur un bassin d'infiltration de l'Est lyonnais (Crépieux-Charmy).



Figure 9 Campagne d'acquisition au radar géologique (antenne de 200 MHz).

Applications de la tomographie de résistivité électrique

› Principe

Injection d'un courant électrique dans le sous-sol et mesure de la différence de potentiel induite, estimation de la résistivité électrique du sous-sol (voir figures 10 et 11).

› Mise en œuvre

Méthode à utiliser de façon ponctuelle (quelques profils par jour), la mise en place du matériel et les mesures pouvant être longues.

- Nombre d'électrodes et espacement inter-électrodes à adapter à la profondeur d'investigation souhaitée;
- Dispositif d'acquisition à adapter à la structure du sous-sol (le dispositif Wenner-Schlumberger est celui qui offre le meilleur compromis en termes de résolution verticale et horizontale, ainsi qu'en profondeur d'investigation).

› Avantages

- Méthode permettant de localiser le toit de la nappe;
- L'analyse des contrastes de résistivités électriques peut permettre d'évaluer l'hétérogénéité des formations. Un fort contraste de propriétés résistives entre unités structurales est toutefois nécessaire. Par ailleurs, les mesures doivent être réalisées de préférence en conditions sèches (sous-sol peu saturé en eau).

› Limites

- Méthode essentiellement sensible aux variations de teneur en eau, qui ne renseigne donc qu'indirectement sur la nature et la structure du sous-sol;
- Résolution insuffisante pour détecter des hétérogénéités à une échelle infra-métrique.

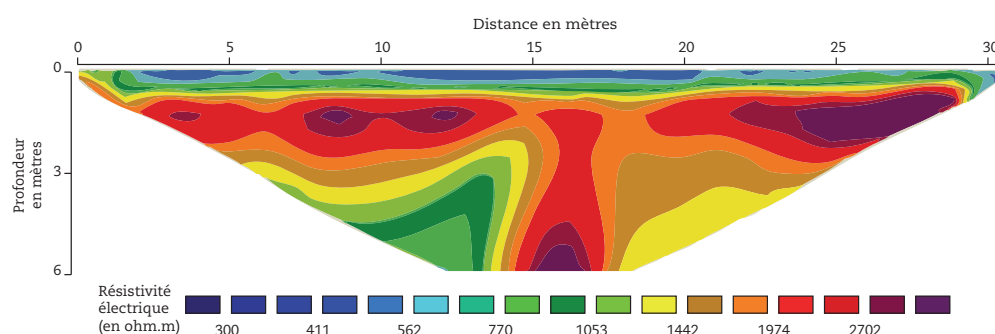


Figure 10 Exemple de profil d'acquisition en tomographie de résistivité électrique (ohm.m).



Figure 11 À gauche, campagne d'acquisition en tomographie de résistivité électrique. À droite, matériel d'acquisition et injection d'un courant électrique entre différentes électrodes.

V. Suivi et gestion des sédiments

1. Règles générales de gestion des sédiments

La durabilité et le comportement sur le long terme des bassins d'infiltration sont dépendants de l'évolution dans le temps des différentes fonctions assurées par ces ouvrages, et notamment de la fonction filtration. Celle-ci est dépendante de la couche de sédiments urbains présente en surface.

Suivi des sédiments

L'accumulation de sédiments en surface conduit à un colmatage des ouvrages se

traduisant par une diminution de leur capacité d'infiltration. Un des indicateurs de suivi concerne ainsi la performance hydraulique de ces ouvrages. Dans le cas d'ouvrages importants (bassins d'infiltration) cet indicateur permet d'étudier l'évolution de leur résistance hydraulique [4]. Le calcul de cette résistance nécessite la connaissance de la surface topographique de l'ouvrage (à quelques centimètres près) et une instrumentation permettant la mesure du débit d'entrée, et des hauteurs d'eau. Pour les ouvrages non instrumentés ou les ouvrages de dimensions réduites il est recommandé de suivre l'évolution de la capacité d'infiltration à l'aide d'essais *in situ* réalisés en plusieurs points. Une méthode simple de suivi par essai d'infiltration est proposée en encart.

Les sédiments accumulés en surface des ouvrages d'infiltration contiennent des polluants associés aux particules fines et à la Matière Organique, notamment des contaminants métalliques (plomb, zinc, cuivre) et organiques (pesticides, HAP, etc.). Le suivi consiste à mesurer régulièrement les concentrations en polluants contenus dans des prélèvements de sédiments effectués en surface. Afin d'obtenir un échantillon composite représentatif, une méthodologie de prélèvement est proposée en encart.



SUR LA GESTION ET LE SUIVI DES SÉDIMENTS

- Filière d'élimination et de valorisation : Guide *L'infiltration en question* (GRAIE, 2009) http://www.graie.org/ecopluies/delivrables/55729e_guidemodifie_20090203fin6-2.pdf
- Méthodes de prélèvement, de caractérisation et de valorisation : Guide technique *Recommandations pratiques pour la gestion des produits de l'assainissement pluvial* (LCPC, 2006)
- Indicateurs de suivi des performances d'ouvrages d'infiltration : Guide OTHU, 2009, Indicateurs de performance de stratégies d'assainissement pluvial par infiltration. Fiche technique OTHU n°9, 4 p. <http://www.graie.org/othu/pdfothu/fiches/Fogv2.pdf>

4. Durée nécessaire à une quantité unitaire d'eau pour s'infiltrer sous une charge unitaire.

Gestion et valorisation des sédiments

La gestion des sédiments est dépendante du type d'ouvrage (puits d'infiltration, noues/tranchées d'infiltration, bassins infiltration) ou de son usage (accessibles au public ou non). Les sédiments s'accumulent peuvent rester en place tant (i) qu'ils ne compromettent pas l'efficacité des ouvrages et (ii) que la quantité de polluants qui atteint la nappe d'eau souterraine est acceptable. En pratique, dès qu'un bassin perd sa fonction d'infiltration (par exemple par colmatage), il est nécessaire de procéder à un curage. Le matériau ainsi prélevé prend alors un autre statut. Il n'existe en effet pas de textes réglementaires spécifiquement adaptés à ces sédiments et il convient de les gérer dans des conditions respectueuses de la santé et de l'environnement dans le cadre des textes réglementaires généraux relatifs aux déchets (GRAIE, 2009).

Les analyses physico-chimiques préconisées pour l'évacuation et la valorisation de ces sédiments sont les suivantes :

- caractérisation physique : analyse granulométrique, teneur en matière sèche (siccité);

- caractérisation chimique : teneur en Matière Organique, teneur en Éléments Traces Métalliques (cadmium Cd, plomb Pb, cuivre Cu, zinc Zn), hydrocarbures totaux et hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).

Concernant les Éléments Traces Métalliques contenus dans les sédiments, deux types d'approche sont possibles :

- mesurer la quantité totale de polluants contenus dans les sédiments en utilisant une méthode d'extraction,
- mesurer la mobilité des polluants par des essais de lixiviation ou de percolation.

L'approche retenue dépend de la filière de traitement envisagée. À titre d'exemple, le stockage des sédiments de curage dans une installation de type ISDND (déchets non dangereux) peut être une solution de gestion. L'acceptation de ces sédiments en ISDND est subordonnée au respect de critères d'admissions basés sur des essais de lixiviation et définis dans l'arrêté du 9 septembre 1997 relatif aux installations de stockages de déchets non dangereux (GRAIE, 2009).

2. Influence du bassin versant sur la qualité des sédiments urbains ?

Sur les dix-neuf bassins d'infiltration étudiés dans le cadre du projet GESSOL-FAFF, l'acquisition de différents paramètres invariants (activité, imperméabilité, taille du bassin versant, dimension et volume de l'ouvrage, etc.) a permis de classer les ouvrages en fonction de facteurs géo-environnementaux. À la suite d'un échantillonnage basé sur la méthodologie de prélèvement par échantillon composite, des analyses agronomiques, géochimiques et pédologiques ont été réalisées sur les sédiments urbains (cf. tableau 4).

L'analyse des résultats des dix-neuf bassins d'infiltration situés sur le même espace urbain mais d'activités de bassin versant différentes montre que les concentrations en polluants ne sont pas négligeables. Ces concentrations en HAP et métaux lourds dans les eaux de lessivage des milieux urbains et la capacité des bassins à piéger ces contaminants en surface sont vérifiées. Ces ouvrages peuvent également piéger d'autres contaminants (PCB, Dioxines, pesticides, Alkylphénols, dioxyde de titane).

Afin de déterminer si les facteurs géo-environnementaux et en particulier les activités humaines qui se développent sur les bassins versants influent les paramètres de qualité physico-chimiques et biologiques des sédiments urbains des bassins d'infiltration, différentes méthodes statistiques ont été testées. Ces analyses mettent en évidence les points suivants:

- les surfaces des bassins d'infiltration sont globalement riches, voire très riches en Matière Organique. Cette Matière Organique

est caractérisée par une contribution « naturelle » (débris végétaux, terres lessivées, etc.) et par une contribution anthropique (ensemble des rejets atmosphériques ou apports en surface);

- les teneurs en phosphore (P) sont élevées.

Malgré l'hétérogénéité des niveaux de concentrations des micropolluants organiques et minéraux, l'activité des bassins versants ne permet pas de discriminer la qualité des sédiments urbains. La surface

+ SUR LA MÉTHODOLOGIE DE PRÉLÈVEMENT PAR ÉCHANTILLON COMPOSITE

Afin d'obtenir un échantillon représentatif des sédiments en surface de l'ouvrage, il est nécessaire de définir une stratégie d'échantillonnage en fonction des objectifs recherchés:

- connaître le niveau de contamination moyen de l'ensemble des sédiments à extraire,
- suivre au cours du temps l'évolution du niveau de contamination de certains points représentatifs afin de limiter, dans le cas de dépassement de valeurs seuils, tout risque de contamination des milieux environnant.

La stratégie d'échantillonnage doit préciser (cf. tableau ci-dessous):

- la localisation et la répartition des points de prélèvements,

- le nombre d'échantillons,
- le mode opératoire.

Pour les bassins d'infiltration, il est recommandé de réaliser un échantillonnage « au jugement », dans la mesure où les sédiments de surface sont en général répartis de façon hétérogène.

Pour la réalisation d'un échantillon moyen ou composite, un mélange homogène de différents prélèvements à la pelle ou à la tarière de la totalité de la couche de sédiments est préconisé. Cet échantillon composite doit être conditionné dans des flacons propres et adaptés à chaque type d'analyse.

STRATÉGIE D'ÉCHANTILLONNAGE PRÉCONISÉE EN FONCTION DU TYPE D'OUVRAGE

PRÉLÈVEMENTS / PRISES		
	Nombre	Répartition
Noues, fossés	5 à 10 réparties tous les 250 à 500 m*	Équidistante au fond du fossé
Bassins	S < 100 m²: 8 100 < S < 5000 m²: 14 S > 5000 m²: 20	Échantillonnage au jugement Échantillonnage aléatoire ou systématique par maillage

* ou à adapter à partir d'une étude préliminaire du site

des bassins d'infiltration présente donc une «signature chimique urbaine» et concentre sur de petites surfaces les polluants qui circulent en milieu urbain.

Le tableau ci-dessous présente les valeurs minimales, maximales, moyennes et médianes des teneurs totales en polluants contenus dans les sédiments prélevés dans les dix-neuf bassins étudiés dans le cadre du projet GESSOL-FAFF. Ce tableau

apporte une indication sur les gammes de teneurs totales en polluants, représentatives des sédiments présents dans les bassins d'infiltration de l'Est lyonnais. Il est toutefois rappelé que ces teneurs ne correspondent pas à celles qui seraient obtenues via la réalisation d'un essai de lixiviation ou de percolation nécessaire pour évaluer les critères environnementaux d'entrée dans les filières de valorisation.

Tableau 4 Paramètres agronomiques et teneurs totales en métaux lourds, polluants organiques et pesticides pour les échantillons de l'Est lyonnais (n = nombre d'échantillons).

Paramètres agronomiques (n = 19)								
	MO (%)	Carbonates (%)	Agrégation (%)	Grain Moyen (µm)	pH (H2O) – pH (KCl)	P Inorganique (mg/g MS)	P organique (mgP/g MS)	P total (mgP/g)
Min.	2,7	1,1	19,1	34,6	6,8 – 6,1	0,4	0,1	0,6
Max.	28,8	8,9	80,4	287,3	8,4 – 8	2,5	0,3	3,1
Moyenne	15,6	3,3	59,7	102,5	7,8 – 7,2	1,1	0,2	1,6
Médiane	17,5	2,6	72,3	69,1	7,9 – 7,4	1,1	0,2	1,4
Métaux lourds (n = 19)								
	Total Zn (g/kg MS)	Total Cu (mg/kg MS)	Total Ni (mg/kg MS)	Total Cr (mg/kg MS)	Total Pb (mg/kg MS)	Total Cd (mg/kg MS)		
Min.	0,06	28	14	23	20	0,16		
Max.	3,80	664	116	119	341	4,9		
Moyenne	0,9	171	51	62	149	1,24		
Médiane	0,56	148	52	52	143	0,85		
Polluants organiques et pesticides (n = 19 sauf pour le Diuron où n = 10)								
	COT (g/kg MS)	7 PCBi (µg/kg MS)	17 Dioxines (ng/kg MS)	Diuron (ng/g MS)	para-ter-octylphénol (ng/g)	4-nonylphénol (ng/g)	HAP (ng/g MS)	
Min.	1	4	2	3	30	200	40	
Max.	151	546	39	20	109	1 333	46 610	
Moyenne	77	151	16,5	10	45	532	3 644	
Médiane	75	92	16	11	36,5	347	1 013	



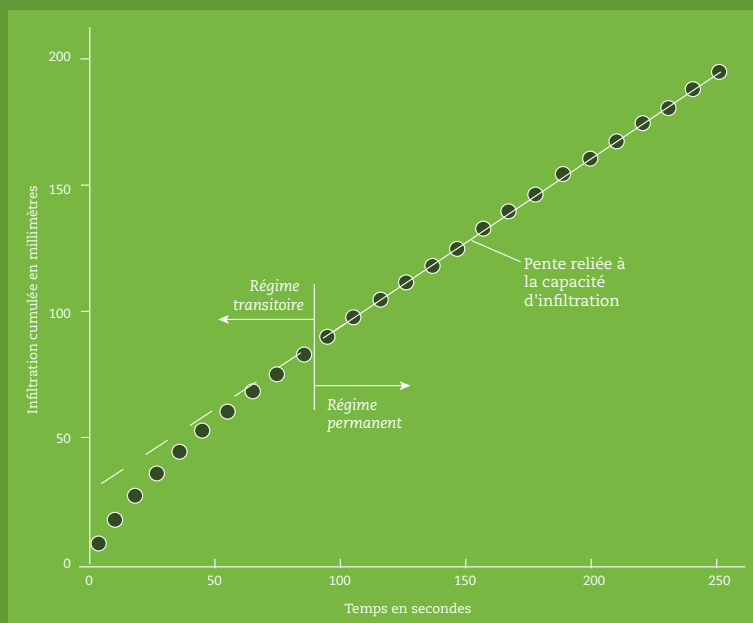
SUR LA MÉTHODOLOGIE DE SUIVI PAR ESSAI D'INFILTRATION SIMPLE ANNEAU

Afin d'évaluer la durabilité et le comportement sur le long terme d'un ouvrage d'infiltration, un des indicateurs est la performance hydraulique. Cet indicateur permet d'évaluer la capacité d'infiltration, qui peut évoluer au cours du temps en fonction du colmatage associé à l'accumulation de sédiments en surface.

Le suivi de cet indicateur peut se faire par l'intermédiaire de la réalisation d'essais d'infiltration simple anneau. Cette méthode consiste à mesurer le temps d'infiltration de volumes d'eau identiques (entre 200 et 300 mL) introduits successivement au sein d'un anneau d'une dizaine de centimètres de diamètre placé en surface du bassin (voir illustration ci-contre). La fin de l'essai est déterminée par un temps identique d'infiltration sur les cinq derniers volumes. Dans ce cas, on dit qu'on a atteint un régime permanent d'infiltration.

L'interprétation de l'essai se fait à partir de la courbe qui relie l'infiltration au temps $I(t)$. Cette courbe représente le volume cumulé infiltré par unité de surface en fonction du temps. En régime permanent, la courbe $I(t)$ est linéaire et la pente correspond à la capacité

d'infiltration, qui doit rester constante (voir graphique ci-dessous). En l'absence de la détermination de la résistance hydraulique à l'échelle de l'ouvrage, il est préconisé de réaliser régulièrement ce type d'essai en plusieurs points fixes. Une variation de l'ordre de 1/1000 de la pente indique un colmatage potentiel et requiert des investigations complémentaires.



Glossaire

ADSORPTION Phénomène physique faisant intervenir les forces de Van der Waals et concernant la fixation d'ions libres à la surface de certaines substances. C'est le cas de l'adsorption de micropolluants, tels que les métaux lourds, sur les particules solides se trouvant dans le milieu ou de l'adsorption de composés indésirables sur du charbon actif dans les procédés de traitement de l'eau potable.

BASSIN D'INFILTRATION Type particulier de bassin de retenue. C'est un ouvrage qui permet le stockage temporaire des eaux de toute nature et qui assure une fonction (plus ou moins importante) d'infiltration dans le sol. Le bassin d'infiltration est généralement placé à l'exutoire d'un réseau d'assainissement traditionnel, et peuvent être également disposés en parallèle au réseau (il ne sera dans ce cas alimenté que par des surverses et pour des événements de fréquence faible produisant des débits trop importants pour être évacués par le réseau).

BASSIN DE DÉCANTATION Bassin de traitement destiné au stockage temporaire des eaux pluviales en réseau séparatif, dans le but de les décanter avant leur rejet en milieu récepteur.

BASSIN DE RETENUE Ouvrage d'assainissement destiné à stocker provisoirement les eaux urbaines excédentaires lors des pluies, avant de les restituer au milieu récepteur dans des conditions acceptables. Ce sont des ouvrages régulateurs qui peuvent offrir une souplesse de gestion sur des réseaux qui en sont généralement dépourvus.

BIODÉGRADATION Dégradation de la matière organique par l'ensemble des micro-organismes présents dans l'eau et en premier lieu par les bactéries qui y puisent l'énergie et les substances nécessaires à leur croissance et à leur métabolisme.

CARBONATE Minéral caractérisé par l'ion $(CO_3)^{2-}$. Ces minéraux sont nombreux mais seuls trois d'entre eux sont importants : la calcite, l'aragonite et la dolomite. Les roches carbonatées sont formées pour 50% au moins de carbonates, et représentent 20% des roches sédimentaires, couvrant de vastes surfaces sur les continents.

CHAUSSÉE À STRUCTURE RÉSERVOIR Les chaussées à structure réservoir sont des ouvrages routiers (voiries, parking, etc.) permettant d'écarter les débits de pointe ou les volumes de ruissellement. Leur principe est de stocker temporairement les eaux de pluie dans le corps de la chaussée et de les restituer à débit limité soit dans un exutoire de surface, soit dans le sous-sol par infiltration. Une chaussée réservoir dont le corps sert au stockage des eaux pluviales et qui peut être en outre muni d'un revêtement drainant est dite « avec revêtement poreux ».

CLOISON SIPHOÏDE Cloison obstruant l'écoulement par le haut et obligeant l'effluent à s'écouler en siphon par en dessous. Une cloison siphon peut être placée à demeure pour un fonctionnement courant ou être formée momentanément par un ouvrage fixé ou flottant.

DISPERSION Ensemble des effets sur le comportement des particules (identiques ou différentes), d'un fluide en mouvement dans un milieu poreux, de phénomènes mécaniques et physico-chimiques, qui peuvent se traduire par des hétérogénéités – dans le temps et dans l'espace – des concentrations d'un soluté dans le fluide ou du mélange de fluides miscibles. Ces effets comprennent la dispersion cinématique et la diffusion moléculaire, ou dispersion physico-chimique.

FILTRATION Opération consistant à éliminer les produits indésirables contenus dans un liquide (ou à éliminer le liquide présent dans les boues) en le faisant passer à travers un milieu poreux ou perméable. La filtration concerne différents procédés utilisés en assainissement : filtration sur sable, filtres à sable verticaux ou horizontaux, filtration par des membranes, filtration par des boues.

FOSSÉ D'INFILTRATION Ouvrage linéaire à ciel ouvert dans lequel les eaux pluviales sont recueillies. Les fossés permettent de réguler les eaux en les infiltrant dans le sol ou en ralentissant l'écoulement, et font partie de la famille des techniques alternatives*. L'introduction de l'eau dans la structure se fait par ruissellement (dans certains cas par des conduites). Le stockage des eaux recueillies s'effectue à l'air libre à l'intérieur du fossé. L'évacuation des eaux stockées est assurée le plus souvent par infiltration dans le sol.

GÉOTEXTILE Textile synthétique à structure bi ou tridimensionnelle, lâche, perméable, utilisé par exemple pour séparer deux couches de matériaux dans des ouvrages relevant des techniques alternatives d'assainissement*.

LITHOFACIÈS Catégorie dans laquelle on peut ranger une roche ou un terrain, et qui est déterminée par un ou plusieurs caractères lithologiques et structuraux (relatifs à la nature des roches).

NIVEAU PIÉZOMÉTRIQUE Hauteur d'eau mesurée par un piézomètre (puits ou forage) permettant de déterminer ou d'enregistrer le niveau d'une nappe phréatique.

NOUES D'INFILTRATION Ce terme désigne en assainissement un fossé large, peu profond, souvent enherbé, susceptible de stocker des eaux de ruissellement. Ce type de système est bien adapté pour les zones d'habitat individuel peu denses. Elles ont un intérêt paysager important dans la mesure où elles permettent d'introduire de la verdure et de la végétation.

OXYDORÉDUCTION Une réaction d'oxydoréduction est une réaction chimique dans laquelle des électrons sont échangés par un couple oxydant/réducteur, le composé oxydant acceptant les électrons cédés par le composé réducteur.

PÉRIODE DE RETOUR Intervalle de temps moyen séparant deux occurrences d'un événement caractérisé par une variable aléatoire unique. On peut par exemple parler de la période de retour d'une pluie donnée si on la caractérise par son intensité moyenne en un point particulier (ou par sa lame d'eau moyenne sur une surface donnée), sur une durée fixe, ou de la période de retour d'un débit donné en un point particulier du réseau, etc.

PERMÉABILITÉ DU MILIEU Aptitude d'un milieu à laisser circuler l'eau sous sa forme liquide. La perméabilité des sols conditionne de façon déterminante leur comportement vis-à-vis de l'infiltration.

PRÉCIPITATION Formation d'un composé solide quand on mélange deux composés liquides (par exemple la précipitation de l'hydroxyde de fer $\text{Fe}(\text{OH})_3$ quand on mélange une solution de chlorure de fer (III) et une solution d'hydroxyde de sodium). Une réaction de précipitation est exactement l'inverse d'une réaction de dissolution ; ses caractéristiques thermodynamiques sont donc de signe opposé à celles de la réaction de dissolution mais de même valeur absolue.

PUITS D'INFILTRATION DES EAUX PLUVIALES Les puits d'infiltration ont pour fonction l'évacuation directe des eaux pluviales dans le sol. Ils drainent généralement des surfaces de l'ordre du millier de mètres carrés, et ont l'avantage de pouvoir être appliqués dans des zones où la couche de sol superficielle est peu perméable (forte urbanisation, terrain superficiel imperméable) mais qui ont des capacités importantes d'infiltration dans les couches profondes.

SÉPARATEUR À HYDROCARBURES Ouvrage destiné à piéger les hydrocarbures transportés par les eaux pluviales en utilisant leur différence de masse volumique.

TECHNIQUES ALTERNATIVES D'ASSAINISSEMENT PLUVIAL Techniques d'assainissement dont le concept s'oppose au principe du tout au réseau. Leur objectif est non plus d'évacuer le plus loin et le plus vite possible les eaux de ruissellement mais de les retarder et/ou de les infiltrer (puits d'infiltration, fossé ou tranchée drainante, bassin de retenue ou d'infiltration, toiture stockante, etc.).

TRANCHÉE DRAINANTE (D'INFILTRATION DES EAUX PLUVIALES) Il s'agit d'ouvrages linéaires et superficiels (d'une profondeur généralement inférieure au mètre) qui recueillent les eaux de ruissellement perpendiculairement à leur longueur puis les évacuent soit par infiltration, soit vers un exutoire (réseau, puits, etc.).

ZONE NON-SATURÉE La zone non saturée est la zone du sous-sol comprise entre la surface du sol et la surface d'une nappe libre. Le transfert des polluants dans le sol s'effectue d'abord à travers la zone non saturée (ZNS) avant d'atteindre la zone saturée. Dans cette partie, la quantité d'eau est temporaire et est en transit. La vulnérabilité des nappes phréatiques et le risque de leur pollution dépendent de la constitution structurelle et de l'importance de cette zone.

ZONE SATURÉE Zone du sous-sol dont les interstices sont entièrement remplis par de l'eau, formant une nappe d'eau souterraine.

Remerciements



Responsable du projet GESSOL-FAFF

Thierry Winiarski, École Nationale des Travaux Publics de l'Etat, LEHNA-IPE, UMR CNRS 5023, rue Maurice Audin, 69 518 Vaulx-en-Velin.



Partenaires du projet GESSOL-FAFF

Cécile Delolme, Laurent Lassabatère, Jean Philippe Bedell, Rafael Angulo-Jaramillo, ENTPE, LEHNA-IPE, UMR CNRS 5023, rue Maurice Audin, 69 518 Vaulx en Velin.



Anatoly Legtchenko, Cécile Duwig, LTHE, UMR CNRS 5564, BP 53, 38 041 Grenoble.



Jérôme Poulenard, Jean Marcel Dorioz, CARTEL, UMR INRA-Université de Savoie, 75 avenue de Corzent, 74 200 Thonon-les-Bains.



David Goutaland, CEREMA/Direction Territoriale Centre-Est (ex-CETE de Lyon), 1 boulevard Bernard Giberstein – ZI de Saint Andoche – BP 141, 71 404 Autun.

Nous remercions le MEDDE et l'ADEME pour leurs contributions financières, les équipes du projet GESSOL-FAFF pour leurs contributions scientifiques ainsi que l'OTHU et Le Grand Lyon pour la mise à disposition des sites d'étude.

Nous remercions également pour leur lecture attentive et leurs conseils pertinents Madame Laëtitia Bacot de l'Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine (OTHU) et Monsieur Laurent Eisenlohr du CEREMA/Direction Territoriale Centre-Est.

COMITÉ DE RÉDACTION David Goutaland – CEREMA
Gwénaelle Roux – éGéos
Thierry Winiarski – ENTPE

COORDINATION Gwénaelle Roux – éGéos

CONCEPTION GRAPHIQUE Christophe Le Drean – <http://rouge-rose.net>

CRÉDITS PHOTOS GRAIE; OTHU; Tela Botanica

IMPRESSION a3 Copie – 1 quai Jean Moulin, 69 001 Lyon

*Imprimé en avril 2015 sur papier Munken Lynx
(150 g pour les pages intérieures, 300 g pour la couverture),
certifié EU Ecolabel – FSC – PEFC.*

