

## L'infiltration des eaux pluviales et son impact sur la ressource en eau souterraine

### Note de problématique



Crédit photo : © Cerema

**Maître d'ouvrage : Direction de l'Eau et de la Biodiversité,  
bureau EARM4**

Contributeurs : Agence de l'Eau Seine Normandie, DRIEE-IF, Laboratoire Eau  
Environnement et Systèmes Urbains (ENPC)



# L'infiltration des eaux pluviales et son impact sur la ressource souterraine

## Note de problématique

### Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
1	18/08/17	Document de travail soumis pour avis à différents référents techniques
2	18/07/18	Version finale

### Affaire suivie par

<b>Jérémie SAGE</b> - Département Ville Durable – Unité Eau
Tél. : 01 34 82 12 56 / Fax : 01 30 50 83 69
Courriel : <a href="mailto:jeremie.sage@cerema.fr">jeremie.sage@cerema.fr</a>
<b>Site de Trappes</b> : Cerema Ile-de-France – 12 rue Teisserenc de Bort – CS 20600 78197 Trappes-en-Yvelines Cedex

### Références

n° d'affaire : C16PV0134

Maître d'ouvrage : DGALN/DEB/EARM4 (correspondant : Mme LANGLAMET)

Rapport	Nom	Date	Visa
Établi par	Jérémie SAGE		
Avec la participation de	N. Aires (Agence de l'eau Seine Normandie), E. Berthier (Cerema), P. Branchu (Cerema), E. Dumont (Cerema), A. Gérolin (DRIEE-IF), M-C. Gromaire (Leesu, ENPC), A. Langlamet (DGALN), N. Lenouveau (Cerema), D. Tedoldi (Leesu, ENPC)		
Contrôlé par	Céline Gibelin		Céline GIBELIN Signature numérique de Céline GIBELIN 2310007866gc Date : 2018.07.18 14:18:34 +02'00'
Validé par	Vincent Graffin		Vincent GRAFFIN Signature numérique de Vincent GRAFFIN 2310009634gv Date : 2018.07.20 17:02:43 +02'00'

### Résumé de l'étude :

Bien qu'offrant des perspectives pour limiter les rejets de polluants vers les milieux aquatiques superficiels, l'infiltration d'eaux pluviales présentant des niveaux non-négligeables de contamination suscite de fréquentes interrogations quant au risque d'accumulation des polluants dans les sols et de contamination de la ressource en eau souterraine. La Direction de l'Eau et de la Biodiversité, a par conséquent missionné le Cerema pour élaborer une note de problématique sur « l'infiltration des eaux pluviales et la qualité des eaux », afin de l'éclairer, à travers une synthèse des connaissances actuelles, sur les actions à conduire et d'identifier d'éventuels besoins en matière de recherche et développement comme sur le plan opérationnel.

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>4</b>
<b>1. CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE.....</b>	<b>5</b>
1.1. La gestion des eaux pluviales dans la réglementation française.....	5
1.2. La place de l'infiltration dans la réglementation.....	6
1.3. Les rejets vers le sous-sol dans le code de l'environnement.....	7
1.4. L'infiltration dans la déclinaison locale de la réglementation.....	9
1.5. Schéma synoptique.....	10
<b>2. ÉTAT DES CONNAISSANCES ACTUELLES.....</b>	<b>11</b>
2.1. Les dispositifs d'infiltration des eaux pluviales.....	11
2.2. Les processus associés à la rétention ou à la mobilisation des contaminants.....	12
2.3. État des connaissances sur le risque de contamination des eaux souterraines.....	18
<b>3. ANALYSE DES PRÉCONISATIONS ACTUELLES ET IDENTIFICATION DES BESOINS FUTURS.....</b>	<b>22</b>
3.1. Contraintes de conception et faisabilité.....	22
3.2. Besoins en matière de recherche et d'innovation.....	24
<b>4. CONCLUSIONS.....</b>	<b>27</b>
<b>5. GLOSSAIRE.....</b>	<b>30</b>
<b>6. RÉFÉRENCES UTILES.....</b>	<b>32</b>
<b>7. BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>33</b>

# Introduction

L'infiltration des eaux pluviales urbaines apparaît comme une solution pertinente pour pallier les insuffisances des systèmes d'assainissement traditionnels, en limitant à la fois les volumes de ruissellement et les flux de polluants dirigés vers les réseaux et les milieux superficiels. Aujourd'hui, le recours à des dispositifs de gestion « à la source », situés en amont des réseaux et favorisant l'abattement des pluies dites courantes (cf. glossaire) via l'infiltration, est largement encouragé. L'infiltration est également envisagée comme un moyen de réduire les impacts des aménagements sur le cycle de l'eau, en assurant par exemple la recharge des nappes phréatiques et le maintien des débits d'étiages. Ce mode de gestion trouve plus généralement sa place dans l'application de la séquence « Éviter-Réduire-Compenser » (MTES 2012), qui fait aujourd'hui l'objet d'une attention croissante et dont le cadre réglementaire a récemment été renforcé (loi n° 2016-1087 du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages). L'infiltration des eaux pluviales suscite cependant de fréquentes interrogations sur les conséquences d'une accumulation des polluants dans les sols et l'éventualité d'une altération progressive de la ressource en eau souterraine, du fait de la contamination des eaux pluviales urbaines<sup>1</sup>.

L'objectif de ce document est d'apporter, à partir des connaissances actuelles, un éclairage sur les pratiques opérationnelles en identifiant à la fois des points de vigilance dans la mise en œuvre des techniques d'infiltration et d'éventuels besoins en matière de recherche et développement ou de valorisation des connaissances actuelles :

L'analyse s'organise en trois parties :

- Un rappel du contexte réglementaire visant notamment à identifier les textes ou documents (1) à travers lesquels la question de la pollution de la ressource souterraine par les eaux pluviales serait évoquée ou plus simplement (2) destinés à réglementer ou orienter les pratiques en matière d'infiltration du ruissellement.
- Une synthèse bibliographique permettant de présenter de façon simplifiée (1) les principaux mécanismes contrôlant la rétention et la mobilité des contaminants dans les dispositifs de gestion des eaux pluviales (reposant en partie sur l'infiltration) ainsi que (2) les connaissances actuelles quant au risque de contamination de la ressource en eau souterraine au niveau de ces ouvrages. L'objectif de cette synthèse est en particulier de faire apparaître les facteurs (nature de la contamination, caractéristiques du sol ou de l'ouvrage...) susceptibles de limiter ou d'accroître le risque d'une migration des polluants introduits dans les dispositifs de gestion des eaux pluviales vers les eaux souterraines.
- Une analyse des préconisations actuelles et des besoins futurs s'appuyant sur une confrontation des connaissances et des pratiques à quelques « situations types », permettant d'illustrer en fonction du contexte local (nature des surfaces d'apport et des contaminants présents dans les eaux pluviales), quelles conditions (relatives au bassin versant comme à l'ouvrage) privilégier pour la mise en œuvre des techniques d'infiltration. Cette démarche, assez prospective, est également l'occasion de souligner l'hétérogénéité des préconisations en matière de prise en compte du risque de contamination de la ressource souterraine et vise en particulier à identifier les scénarios de gestion demeurant problématiques au regard des connaissances actuelles.

---

1-La question de la contamination accidentelle ne sera abordée qu'à la marge dans le document

# 1. Contexte réglementaire

## 1.1. La gestion des eaux pluviales dans la réglementation française

La gestion des eaux pluviales est encadrée par des lois et des outils réglementaires s'appliquant à des échelles différentes. Elle relève à la fois (1) de textes de portée nationale, fixant des objectifs généraux en matière de protection de la ressource en eau, (2) d'outils de planification et de gestion des eaux intégrant des orientations à l'échelle d'unités hydrographiques cohérentes et (3) de documents de portée plus locale introduisant des prescriptions parfois très précises sur ses modalités de mise en œuvre.

### Les textes de portée nationale

Les politiques de gestion de la ressource en eau sont régies au niveau européen par la Directive Cadre sur l'Eau (2000/60/CE ou DCE) qui fixe une méthode de travail, des principes et des objectifs pour la préservation et la restauration de l'état des eaux superficielles et souterraines. La Directive Eaux Résiduaires Urbaines (1991/271/CE ou DERU) établit par ailleurs des obligations en matière de collecte et de traitement des eaux pluviales lorsque ces dernières sont dirigées vers un système de collecte unitaire.

Dans la législation française, la gestion des eaux pluviales, qui relève à la fois d'enjeux de maîtrise du ruissellement et de préservation des milieux récepteurs, est principalement encadrée par le code de l'environnement, mais est également abordée dans le Code Civil, le Code Général des Collectivités Territoriales (CGCT) et le Code de l'Urbanisme. Les outils permettant d'atteindre les objectifs de la DCE (transposée dans le droit français par loi n°2004-338 du 21 avril 2004) sont précisés par la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques (LEMA) qui vient renforcer certaines des dispositions mises en œuvre avec les Lois sur l'Eau de 1964 et 1992 (n°64-1245 et 92-3).

En matière de gestion des eaux pluviales, ces différents textes sont susceptibles de préciser les conditions de rejet vers le milieu naturel et définissent plus généralement les documents de planification s'appliquant au niveau local.

### Les outils de planification à l'échelle du bassin hydrographiques

Les Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE), introduits par la Loi sur l'Eau de 1992, sont des outils de planification fixant de grandes orientations pour une gestion équilibrée de la ressource en eau à l'échelle de grands bassins hydrographiques. Les dispositions s'appliquant à la gestion des eaux pluviales demeurent alors le plus souvent assez génériques, même si certains SDAGE introduisent également des mesures plus spécifiques, avec des objectifs chiffrés ou spatialisés, susceptibles d'orienter fortement les modalités de gestion des eaux pluviales à une échelle plus locale.

Le SDAGE s'impose aux différents documents d'urbanisme de portée plus locale par un lien de compatibilité : les prescriptions figurant dans ces derniers ne doivent donc pas contredire les dispositions figurant dans le SDAGE (tout comme les décisions administratives relevant des collectivités ou des services déconcentrés).

Les Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) correspondent à des déclinaisons des SDAGE à l'échelle d'unités hydrographiques cohérentes (bassins versant superficiels ou masses d'eau souterraines). Tout comme les SDAGE, ces derniers sont dotés d'une portée juridique, les documents d'urbanismes portant sur le périmètre

d'un SAGE devant être compatibles avec ses dispositions (les décisions administratives sont quant à elles soumises à un lien de conformité avec le règlement du SAGE).

### Les documents de portée plus locale

À l'échelle intercommunale, la gestion des eaux pluviales est principalement encadrée par les prescriptions pour le raccordement des rejets aux réseaux d'assainissement et le zonage pluvial (annexé au PLU dont le règlement peut par ailleurs intégrer des prescriptions en matière de collecte, stockage et traitement du ruissellement ou de maîtrise de l'imperméabilisation). À l'inverse des outils de portée plus générale, ces documents introduisent généralement des critères assez précis sur les modalités de gestion des eaux pluviales pour les opérations d'aménagement. (Ils peuvent être complétés par des outils sans portée réglementaire tels que des contrats de milieux ou les schémas directeurs de gestion des eaux pluviales).

Enfin, les doctrines établies par les services de police de l'eau (s'appliquant aux opérations relevant de la rubrique 2.1.5.0 de la nomenclature Installations Ouvrages Travaux Activités IOTA) et les arrêtés préfectoraux fixant les dispositions nécessaires pour une protection adéquate du milieu naturel peuvent également être envisagées comme une déclinaison locale de la réglementation.

**L'essentiel :** la législation n'apporte de manière générale que peu de précisions quant aux modalités de gestion des eaux pluviales ; celle-ci se limite le plus souvent à la définition de grandes orientations et d'outils réglementaires s'appliquant au niveau local. En absence de prescriptions nationales, les contraintes sur les moyens à mettre en œuvre relèvent donc essentiellement de documents de portée locale et peuvent alors s'avérer assez variables d'une situation à l'autre.

## 1.2. La place de l'infiltration dans la réglementation

En dépit de son intérêt pour la maîtrise du ruissellement et des flux de polluants associés, l'infiltration des eaux pluviales n'est le plus souvent abordée que de façon indirecte dans la législation. Elle correspond dans le Code de l'Environnement à un rejet vers le milieu naturel et est donc en premier lieu considérée comme une source potentielle de contamination de la ressource en eau.

Le risque de pollution associé à l'infiltration peut également être évoqué à travers les outils de planification (SDAGE et SAGE) ou les documents d'urbanisme de portée plus locale. Néanmoins, cette pratique est aussi largement envisagée comme un mode de gestion devant être privilégié pour maîtriser les impacts du rejet d'eaux pluviales sur les milieux superficiels.

La place de l'infiltration des eaux pluviales dans la législation tend cependant à évoluer. De récentes évolutions de cette dernière peuvent ainsi être mentionnées, avec des textes, dont le champ d'application demeure relativement restreint, mais qui permettent d'affirmer l'intérêt d'une réduction à la source des volumes d'eaux pluviales (arrêté du 21 juillet 2015 portant sur les systèmes d'assainissement unitaires et article 86 de la loi du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité encourageant le recours à l'infiltration sur les aires de stationnement de certains projets d'aménagement commercial).

Dans la suite, une synthèse de la réglementation actuelle est proposée afin de rappeler sous quel angle la question de l'incidence de l'infiltration d'eaux pluviales sur les eaux souterraines peut être abordée dans la législation ou dans les outils réglementaires de portée plus locale (bassins hydrographiques, intercommunalités...).

### 1.3. Les rejets vers le sous-sol dans le code de l'environnement

Les enjeux liés à l'introduction de contaminants associés aux eaux pluviales dans le sous-sol sont essentiellement abordés dans le Code de l'Environnement.

De manière générale :

- L'infiltration des eaux pluviales correspond à un rejet au milieu naturel relevant de la rubrique 2.1.5.0. de l'article R.214-1 du Code de l'Environnement<sup>1</sup> (IOTA). Selon la surface totale du projet, l'infiltration des eaux pluviales pourra donc être soumise au régime de déclaration (surface du projet augmentée de la surface du bassin versant amont dont les écoulements sont interceptés comprise entre 1 et 20 ha) ou d'autorisation (emprise supérieure à 20 ha) au titre de la loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques. Si « le rejet d'eaux pluviales [...] sur le sol ou dans le sous-sol » y est clairement identifié, cet article ne comprend en revanche aucune prescription spécifique à l'infiltration des eaux pluviales. (La procédure d'autorisation aboutit néanmoins à la publication d'un arrêté préfectoral d'autorisation susceptibles de contenir un certain nombre de préconisations pour limiter l'incidence de l'infiltration sur les eaux souterraines).
- L'infiltration des eaux pluviales peut également entrer dans le périmètre de la réglementation sur les Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) soumises à enregistrement ou déclaration/autorisation au titre des articles L.511-1 et suivants<sup>1</sup> du Code de l'Environnement. En fonction de la nature de l'aménagement ou des activités menées, des dispositions particulières peuvent être imposées pour l'infiltration. La plupart de ces dispositions sont précisées aux articles 4ter de l'arrêté ministériel du 10 juillet 1990 et 43 de l'arrêté du 2 février 1998. Si la réglementation ICPE met avant tout l'accent sur le risque de pollution de la ressource souterraine et la nécessité d'un traitement des eaux contaminées, il convient de souligner que la circulaire d'application de l'arrêté du 2 février 1998 (du 17/12/1998) introduit une référence explicite à l'infiltration comme mode de gestion des eaux pluviales dites « propres » pour les installations présentant de grandes surfaces imperméabilisées.
- Lorsque l'aménagement ne relève d'aucune de ces nomenclatures, l'infiltration doit demeurer compatible aux dispositions du SDAGE, dont le rôle vis-à-vis de l'objectif de bon état des eaux souterraines a été explicité avec l'article R212-9-1 du Code de l'Environnement (pour répondre aux exigences de la directive européenne « eaux souterraines », directive fille de la DCE). L'arrêté ministériel du 17 juillet 2009 (voir encadré p. 8) reprend également les objectifs de la DCE mais précise quant à lui les dispositions à mettre en œuvre pour prévenir et contrôler la pollution des eaux en identifiant notamment un certain nombre de contaminants dont l'introduction dans les nappes doit être interdite ou limitée.

La possibilité d'évacuer les eaux pluviales par infiltration peut également être limitée par l'existence de Périmètres de Protection des Captages (PPC) ou d'Aires d'Alimentation de Captage (AAC) relevant respectivement du Code de la Santé Publique et de la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques. La création d'un PPC est actée par un arrêté préfectoral, lequel est alors assorti de prescriptions visant à protéger la ressource souterraine et faisant éventuellement référence à l'infiltration des eaux pluviales (voir Annexe 1). En pratique, ces prescriptions s'avèrent surtout contraignantes sur les Périmètres de Protection dite Rapprochée (PPR), concernant généralement quelques hectares autour des sites de captage (si l'infiltration des eaux de ruissellement est clairement proscrite sur

<sup>1</sup>Pour plus d'informations, se référer au guide technique relatif aux modalités de prise en compte des objectifs de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) en police de l'eau (IOTA/ICPE)

les périmètres de protection immédiat, l'emprise de ces derniers se limite le plus souvent à un rayon de quelques dizaines de mètres autour du point de captage). L'identification des AAC peut quant à elle relever d'une décision nationale (captages dits « Grenelles ») comme d'initiatives locales (dans le cadre des SDAGE). Les AAC, qui portent sur des périmètres nettement supérieurs aux PPR, ont essentiellement vocation à limiter l'impact de la pollution diffuse d'origine agricole sur les nappes. Certains documents de portée locale (guides ou doctrines) peuvent néanmoins faire référence à l'infiltration des eaux pluviales et introduire des prescriptions spécifiques (voir Annexe 1). Le plus souvent, l'infiltration des eaux pluviales demeure cependant possible sur ces zones de protection à condition de respecter certaines dispositions (notamment d'éviter les puits d'infiltration) et de se prémunir des pollutions accidentelles.

### **L'arrêté du 17/07/2009 relatif aux mesures de prévention ou de limitation des introductions de polluants dans les eaux souterraines**

#### **L'essentiel :**

- Complète l'article R212-9-1 du Code de l'Environnement (qui explicite le rôle du SDAGE en matière de protection des eaux souterraines) en précisant (i) son champ d'application et (ii) les dispositions à mettre en œuvre pour assurer la protection des eaux souterraines.
- Introduit les notions de pollutions « directes » et « indirectes », les premières désignant toute pollution résultant d'une mise en relation directe d'une pollution avec la zone saturée de la nappe et les secondes résultant plutôt d'une possible migration des polluants vers la zone saturée suite à une contamination du sol ou du sous-sol.
- Établit une liste de substances dangereuses et non-dangereuses (susceptibles d'être présentes dans les eaux de ruissellement) dont l'introduction dans le sol doit être respectivement interdite ou limitée, tout en laissant au préfet coordonnateur de bassin<sup>2</sup> la possibilité d'introduire des dispositions plus strictes en matière de protection de la ressource souterraine.

#### **Implications pour la gestion des eaux pluviales:**

- Les pollutions « directes » ou « indirectes » des eaux souterraines doivent être évitées. Les connaissances actuelles suggèrent que, le plus souvent et sous réserve que certaines précautions soient respectées (voir partie III), l'infiltration des eaux pluviales ne conduit ni à l'une ni à l'autre de ces pollutions. En pratique, il peut néanmoins être difficile de démontrer que le risque, notamment vis-à-vis de la pollution indirecte, est bien inexistant.
- Les exclusions mentionnées dans l'arrêté permettent cependant d'envisager une infiltration des eaux pluviales dès lors que (i) celle-ci contribue à la recharge de la nappe sans compromettre la réalisation d'objectifs environnementaux pour cette dernière ou que (ii) les concentrations et les quantités de polluant(s) sont si faibles qu'elles ne présentent aucun risque pour les eaux souterraines.

2-Préfet de la région dans laquelle le comité de bassin (assemblée rassemblant les différents acteurs de la gestion de l'eau du bassin hydrographique couvert par le SDAGE) a son siège. Le préfet coordonnateur de bassin anime et coordonne la politique de l'état à l'échelle du bassin hydrographique.

## 1.4. L'infiltration dans la déclinaison locale de la réglementation

### Les outils de planification de la gestion de l'eau

Les SDAGE et les SAGE constituent des documents de référence au niveau local et sont susceptibles d'apporter des précisions sur les conditions de rejets des eaux pluviales au milieu naturel.

Le SDAGE permet de définir une stratégie de gestion de la ressource en eau cohérente avec les objectifs de la DCE à l'échelle d'un grand bassin hydrographique. En matière de gestion des eaux pluviales, ce dernier a en premier lieu vocation à fixer des orientations assez générales permettant d'atteindre le bon état écologique des masses d'eau. L'infiltration y est ainsi fréquemment présentée comme un mode de gestion à privilégier, tout en rappelant la nécessité de limiter son incidence sur la ressource souterraine. Le SDAGE peut néanmoins préciser les conditions dans lesquelles l'infiltration pourra ou non être envisagée. Le SDAGE Rhône-Méditerranée-Corse (AERMC 2016) proscrit ainsi l'infiltration en milieux karstiques. Le SDAGE Rhin-Meuse (AERM 2016) introduit quant à lui des critères de faisabilité de l'infiltration avec des repères sur la perméabilité des sols. En outre, les SDAGE peuvent être complétés par des guides techniques dans lesquels figurent parfois des recommandations détaillées quant aux dispositions nécessaires pour éviter la contamination des nappes au niveau des ouvrages d'infiltration (l'adoption de dispositions techniques trop précises à l'échelle du bassin hydrographique peut cependant soulever des interrogations puisque le SDAGE a en premier lieu vocation à donner des orientations assez générales en matière de gestion des eaux).

Le SAGE, quant à lui, peut apporter des précisions pertinentes au regard du contexte local sur les conditions ou la faisabilité de l'infiltration en identifiant par exemple, comme dans le SAGE III-Nappe-Rhin (2015) les zones où ce mode de gestion des eaux pluviales pourrait s'avérer problématique (profondeur insuffisante de la nappe ou perméabilité excessive du sol).

### Les documents de portée plus locale

Différents documents d'urbanismes sont susceptibles d'apporter des recommandations ou de fixer des règles en matière d'infiltration et de protection de la ressource souterraine au niveau des ouvrages. Seuls les outils spécifiques à la gestion de l'eau sont ici mentionnés :

Les alinéas 3 et 4 de l'article L. 2224-10 du CGCT imposent aux collectivités compétentes en matière de gestion des eaux pluviales la délimitation des « zones où des mesures doivent être prises pour limiter l'imperméabilisation des sols et pour assurer la maîtrise du débit et de l'écoulement des eaux pluviales et de ruissellement » et de celles « où il est nécessaire de prévoir des installations pour assurer la collecte, le stockage éventuel et, en tant que de besoin, le traitement des eaux pluviales et de ruissellement lorsque la pollution qu'elles apportent au milieu aquatique risque de nuire ». Ce zonage pluvial, inclus ou non dans le zonage d'assainissement, peut donc permettre d'identifier les zones sensibles ou à l'inverse propices à l'infiltration et éventuellement préciser les conditions dans lesquelles celle-ci doit être mise en œuvre. Dans le Val-de-Marne, le zonage départemental (CD94 2014) sur lequel les communes s'appuient pour élaborer leur propre zonage pluvial préconise par exemple de remplacer la couche de surface des dispositifs d'infiltration en présence de remblais pollués.

## Le cas des procédures relevant de la nomenclature IOTA

L'instruction par les services déconcentrés de l'état des dossiers d'autorisation ou de déclaration des rejets d'eaux pluviales au titre de la Loi sur l'Eau peut être envisagée comme une forme de territorialisation des politiques publiques de gestion des eaux pluviales (Lenouveau et al. 2016). La plupart des services de police de l'eau s'appuient sur des doctrines élaborées au niveau départemental ou régional pour répondre à des besoins identifiés à cette échelle. Ces documents peuvent alors inclure des prescriptions assez précises quant aux mesures à respecter pour limiter l'impact des techniques d'infiltration sur les eaux souterraines (parfois sur le modèle de celles figurant dans le guide du CERTU (2003) « la ville et son assainissement ») en identifiant par exemple, en fonction de la nature des surfaces d'apport ou de la perméabilité du sol, des préconisations sur la profondeur minimale de la nappe ou la mise en œuvre de solutions de prétraitement (DDT-03 2014; DDT-37 2008; MISE-70 2007; MISE-RA 2010).

Dans le cas de procédures d'autorisation, l'arrêté préfectoral d'autorisation est par ailleurs susceptible d'intégrer des préconisations s'ajoutant à celles figurant dans les doctrines utilisées par les services.

### 1.5. Schéma synoptique

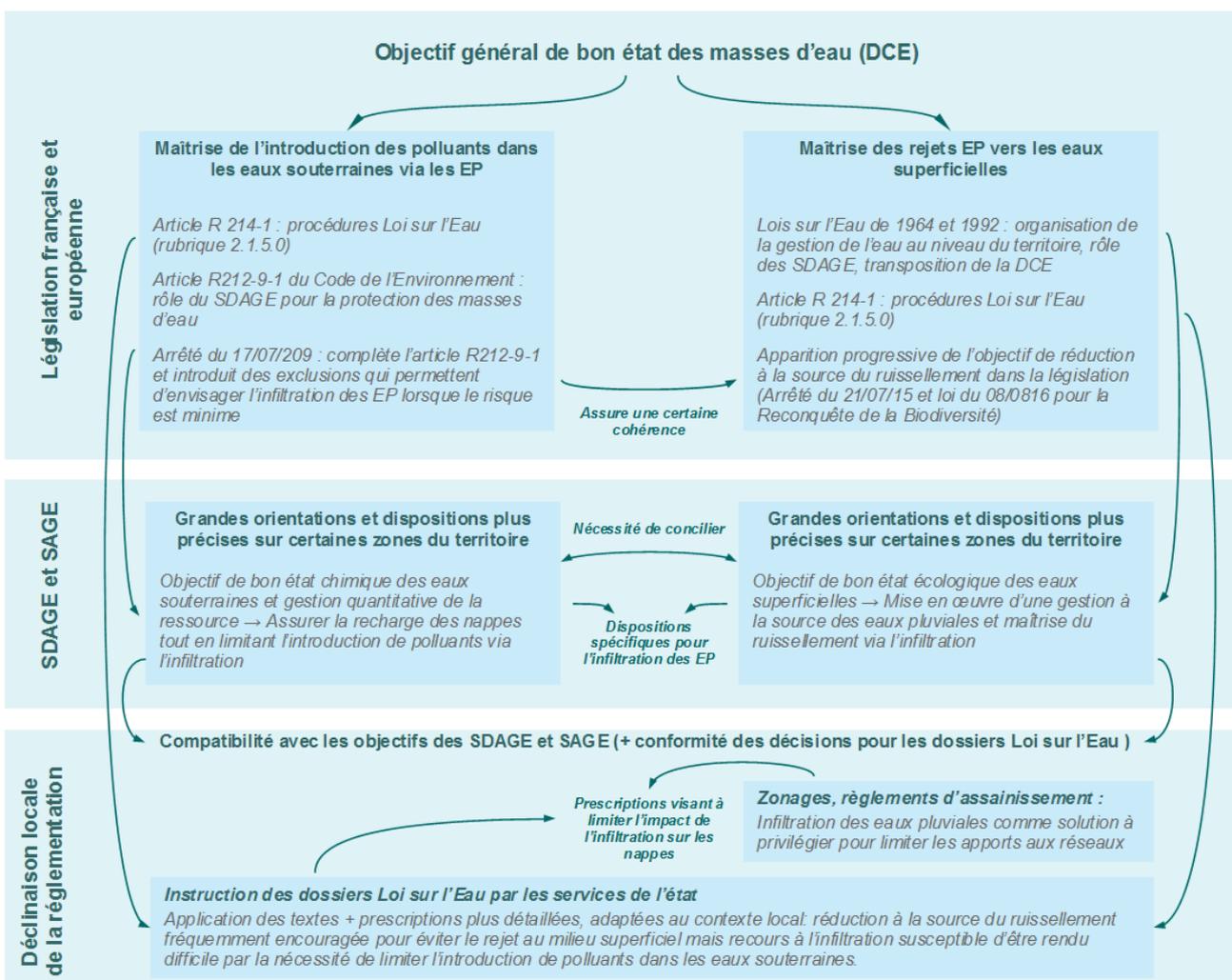


Figure 1: synoptique sur la réglementation de l'infiltration des eaux pluviales

## 2. État des connaissances actuelles

### 2.1. Les dispositifs d'infiltration des eaux pluviales

De multiples solutions techniques peuvent être adoptées pour favoriser l'infiltration des eaux pluviales et réduire les rejets vers les milieux superficiels. L'échelle de mise en œuvre de ces ouvrages est susceptible de varier considérablement avec (1) des solutions compactes (telles que des puits d'infiltration ou des tranchées drainantes); (2) des techniques de gestion à la parcelle (noues, bassins paysagers), et (3) des dispositifs plus centralisés, drainant des surfaces importantes dont la fonction principale est l'infiltration (bassins d'infiltration).

Dans la suite, seront envisagées comme dispositifs d'infiltration des eaux pluviales les solutions destinées à collecter les eaux de ruissellement issues de surfaces aménagées et donnant lieu à l'infiltration d'une fraction des volumes interceptés.

Une telle définition recouvre une grande diversité de situations en termes d'objectif de gestion et de solutions techniques mises en œuvre. L'infiltration peut en effet s'effectuer via des dispositifs de conception parfois très différentes, destinés à assurer des niveaux de services variés (l'ouvrage n'ayant pas nécessairement vocation à infiltrer la totalité des volumes collectés)<sup>3</sup>. Ces différences se traduisent alors par des niveaux de sollicitations variables du sol et du sous-sol qu'il convient d'apprécier pour évaluer le risque de contamination des eaux souterraines.

Deux catégories de techniques d'infiltration peuvent en premier lieu être distinguées, avec d'une part les solutions d'infiltration superficielles, et de l'autre les dispositifs donnant lieu à une infiltration souterraine, sans passage par les horizons les plus organiques du sol propices à la rétention des contaminants (cf. figure 2). L'infiltration souterraine correspond généralement à une situation défavorable en comparaison de l'infiltration superficielle, parce que ne permettant pas une aussi bonne rétention des contaminants, mais aussi parce que reposant sur des dispositifs enterrés dont l'entretien s'avère généralement plus complexe (risque de colmatage).

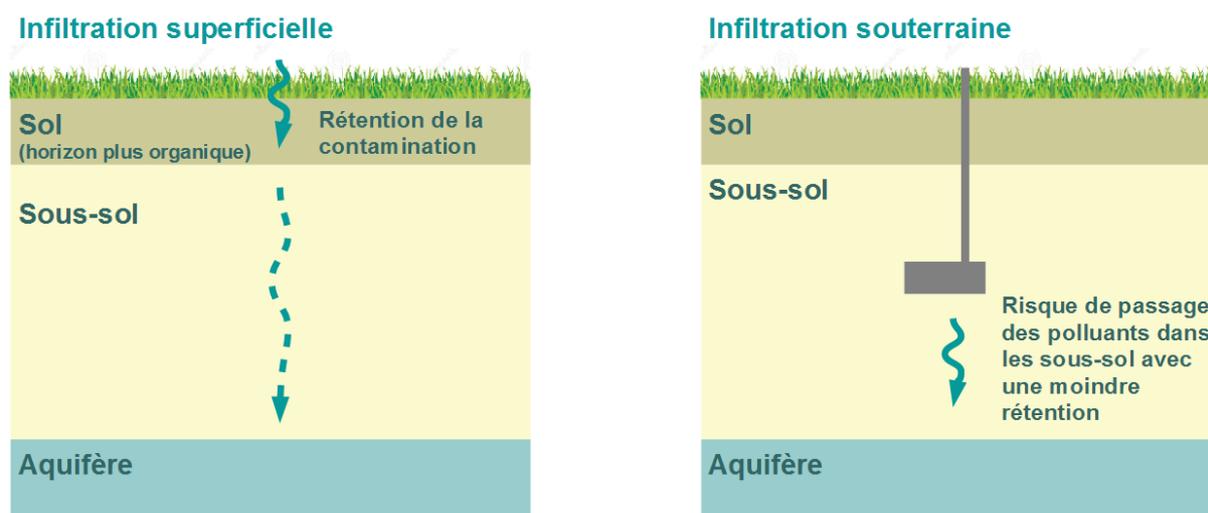


Figure 2: distinction entre infiltration superficielle avec passage à travers le sol et infiltration souterraine

<sup>3</sup>-Se référer aux niveaux de services introduits par le guide Certu « La Ville et son assainissement » (CERTU 2003)

La diversité des techniques d'infiltration résulte également des contrastes dans les fonctions attendues de l'infiltration. L'infiltration d'une fraction des pluies courantes, dans un objectif de maîtrise du bilan hydrologique et de réduction des flux de polluants rejetés en aval, se traduira ainsi par des choix de conception différents de ceux associés à la gestion via l'infiltration de pluies de période de retour plus importante.

À objectif de gestion (ou niveau de service) équivalent, le niveau de sollicitation du sol et du sous-sol est également conditionné par le ratio entre la surface d'infiltration et la surface active drainée en amont de l'ouvrage (Tedoldi 2017), ce dernier allant, de quelques dixièmes de pourcents (dans les cas les plus défavorables) à plusieurs dizaines de pourcents pour les techniques les plus diffuses.

Échelle de mise en œuvre	Infiltration superficielle ou souterraine	Niveau de service	Exemple
Dispositifs compacts	Souterraine	N1/N2	Puits d'infiltration
Techniques de gestion à la source	Superficielle	N1/N2	Noüe, jardin de pluie
	Souterraine	N1/N2	Chaussée réservoir
Ouvrages centralisés	Superficielle	N1/N2	Bassin d'infiltration

*Tableau 1: typologie d'ouvrage d'infiltration (N1 : maîtrise de la pollution et du bilan hydrique local, N2 : maîtrise du ruissellement, cf. Annexe 2)*

## 2.2. Les processus associés à la rétention ou à la mobilisation des contaminants

L'objectif des lignes qui suivent est de rappeler les principaux mécanismes physico-chimiques affectant la mobilité des contaminants afin d'apporter des clés de compréhension quant à l'influence de la nature des sols et de la conception des ouvrages sur le transfert des polluants vers les eaux souterraines.

### 2.2.1. Les processus de rétention

La « capacité de rétention » ou la « fonction de filtration » du sol sont fréquemment évoquées pour désigner la capacité de ce dernier à limiter la migration des contaminants vers des horizons plus profonds. En réalité, ces termes recouvrent une grande diversité de processus parmi lesquels peuvent être distingués, selon la forme, dissoute ou particulaire<sup>1</sup>, des polluants qu'ils affectent :

#### Les processus mécaniques de décantation et de filtration

Ces mécanismes permettent de retenir à la surface des ouvrages ou dans les premiers centimètres de sol l'essentiel des polluants présents dans le ruissellement sous forme particulaire. La décantation affecte les particules les plus grossières qui s'accumulent à la surface du sol tandis que la filtration peut, selon la nature du sol et des dépôts en surface (qui participent également à la filtration), donner lieu à une rétention des particules plus fines (Citeau 2008 ; Tedoldi 2017). La capacité de ces particules à migrer vers les horizons

<sup>1</sup>-En pratique, la répartition des contaminants entre phase dissoute et phase particulaire est variable d'un contexte à l'autre. Certaines espèces peuvent cependant être présentes de façon plus fréquente sous l'une ou l'autre de ces formes (les HAP lourds sont, par exemple essentiellement associés à la matière en suspension, tandis que des métaux tels que le zinc ou le cuivre peuvent être répartis dans des proportions variables entre fraction dissoute et particulaire).

plus profonds du sol (sous-sol et nappes) dépend essentiellement de leur taille et de la structure du milieu infiltrant (diamètre des pores, présence de fissures dans la matrice solide), structure pouvant par ailleurs être influencée par la matière organique du sol qui favorise l'agrégation (McGechan and Lewis 2002).

En règle générale, les sols présentant des cheminements préférentiels ne permettent pas d'assurer une rétention efficace de ces particules. Pour les matériaux de texture grossière tels que les sables (dont le diamètre des pores peut largement dépasser celui des particules), l'accumulation de sédiments à la surface du sol par décantation permet en revanche le plus souvent d'assurer une filtration efficace des polluants particuliers (Hatt et al. 2008; Houg and Davis 2008).

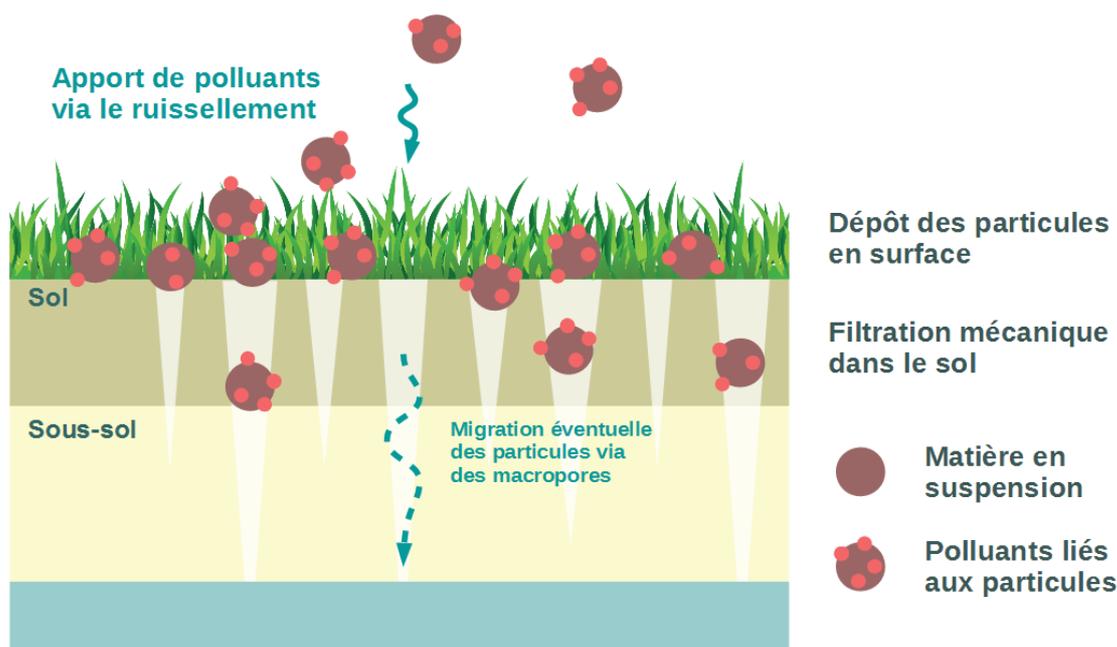


Figure 3: représentation schématique des processus de filtration mécanique s'appliquant aux polluants présents sous forme particulaire

### Les processus de rétention physico-chimiques

Ces mécanismes, qui peuvent participer à la rétention dans le sol des contaminants présents sous forme dissoute dans l'eau infiltrée, affectent essentiellement les éléments-traces métalliques et les composés organiques apolaires (HAP, phtalates...) susceptibles d'être présents sous forme dissoute (il convient cependant de souligner qu'une fraction importante de ces contaminants demeure généralement associée à la matière en suspension). Les substances fortement hydrophiles, telles que certains pesticides, sont en revanche moins facilement affectées par ce type de processus (Pitt et al. 1999).

Les processus d'adsorption correspondent à des réactions se produisant à la surface des phases solides et mettant en jeu des liaisons plus ou moins fortes avec des ions, des atomes ou des molécules. Les mécanismes de physisorption, désignant des interactions électrostatiques faibles, facilement réversibles, doivent en particulier être distingués des phénomènes de chimie-sorption, impliquant la formation de liaisons chimiques de différents types (et parfois plus difficilement réversibles).

Les cations métalliques peuvent ainsi être adsorbés à la surface des argiles ou de substances organiques par des mécanismes de nature électrostatique (facilement réversibles) ou former des liaisons covalentes avec certains groupes fonctionnels de la matière organique du sol (on notera que la capacité d'adsorption du sol par les mécanismes

de nature électrostatique peut être caractérisée par sa Capacité d'Échange Cationique). Les réactions de précipitation peuvent également conduire à une immobilisation des métaux lorsque ces derniers sont présents dans des concentrations importantes. Enfin, l'absorption des contaminants par la matrice solide, via des processus de diffusion relativement lents dans des réseaux cristallins d'oxydes de fer, de carbonates de calcium ou d'argiles peut donner lieu à une rétention assez efficace des polluants de la phase dissoute (Nieber et al. 2014 ; Tedoldi et al. 2016).

De manière générale, la capacité d'un sol à retenir les contaminants via ces différents processus dépendra à la fois de sa composition (proportion de matière organique, d'argiles...), de l'affinité pour la phase solide des espèces introduites avec les volumes de ruissellement (voir tableau 2, « mobilité des polluants ») et des caractéristiques des eaux infiltrées (pH, répartition entre phase dissoute et particulaire, spéciation des polluants en solution...).

Il semble toutefois important de souligner que ces réactions ne sont pour la plupart pas instantanées, et que les phénomènes les plus lents (tels que la diffusion ou la séquestration dans la matrice solide), nécessitant des temps de contact importants, conduisent généralement à une rétention plus durable des contaminants (Citeau 2008). Ainsi, si les caractéristiques physico-chimiques du sol ou la nature des contaminants sont déterminantes, le comportement hydrodynamique du sol l'est également et des vitesses d'écoulement trop élevées (du fait des caractéristiques texturales ou d'écoulements préférentiels) peuvent donc limiter la rétention des polluants.

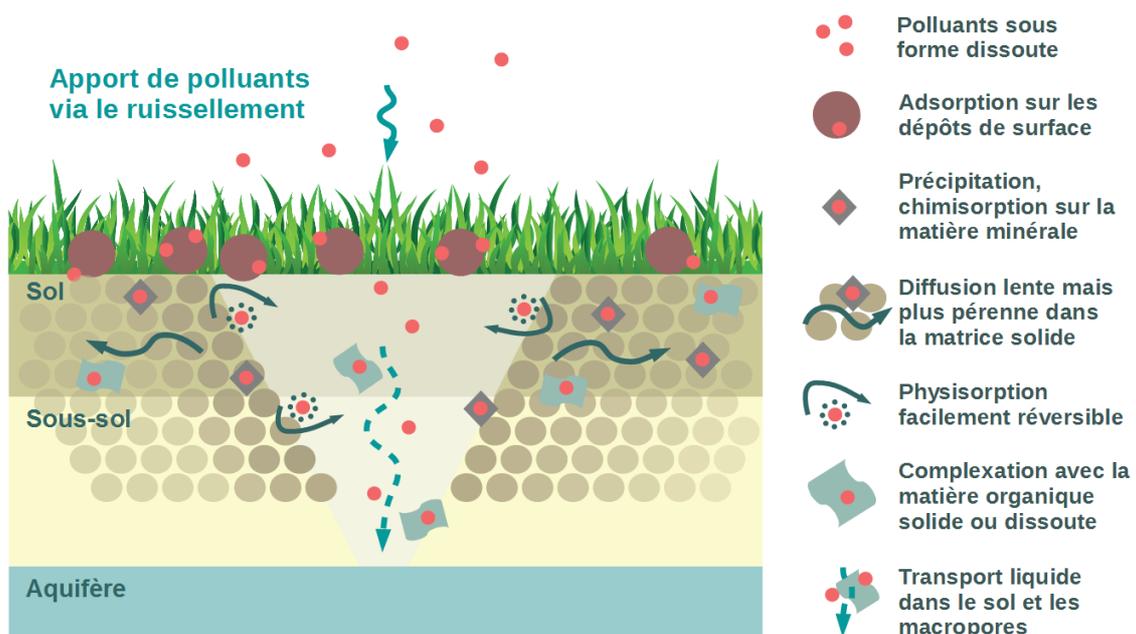


Figure 4: représentation schématique des processus de rétention s'appliquant aux contaminants présents sous forme dissoute

### Les processus de dégradation ou d'extraction par la végétation

Les phénomènes de dégradation (volatilisation, photolyse, dégradation abiotique ou biologique) affectent essentiellement les polluants organiques (Pitt et al. 1999; Sun et al. 2010). L'importance de ces différents processus dépendra à la fois de la capacité de rétention du sol, du temps de séjour des polluants considérés dans la zone biologiquement active du sol et de leur stabilité (Citeau 2008 ; Leroy et al. 2015). L'accumulation de polluants par les végétaux, susceptible d'affecter les éléments-traces métalliques comme les composés organiques, contribue également à la diminution des teneurs en polluants

dans le sol, mais de façon assez marginale (Weiss et al. 2008). Le rôle de la végétation sur la rétention des contaminants ne se limite cependant pas à ces processus d'extraction puisque le développement d'une activité biologique importante dans la zone racinaire favorise à la fois les mécanismes de dégradation et d'adsorption des contaminants (du fait de la production de matière organique).

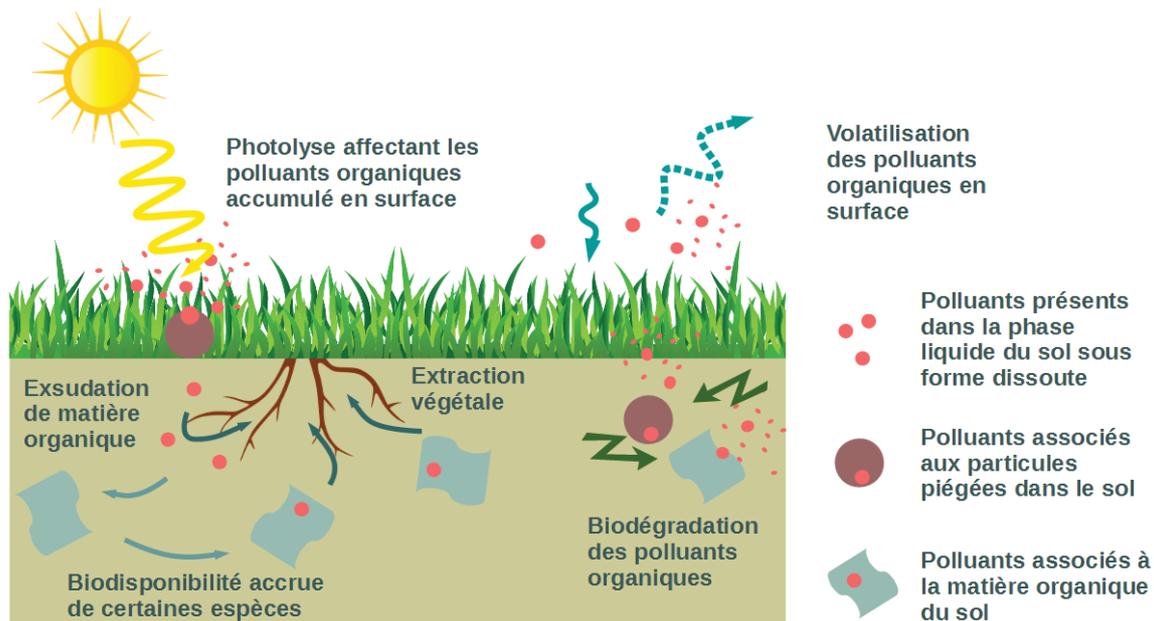


Figure 5: représentation schématique des processus de dégradation et d'extraction végétale

### Les processus participant à la mobilité des contaminants

Le transfert des polluants introduits dans les dispositifs d'infiltration vers des horizons plus profonds du sol et du sous-sol (et éventuellement la zone saturée) peut à la fois résulter d'une capacité limitée (ou devenue limitée) de ce dernier à retenir les contaminants ou de modifications physico-chimiques entraînant une remobilisation de certaines espèces. Peuvent alors être distingués différents processus :

- **L'accumulation des polluants dans les couches superficielles du sol** participe au transfert des contaminants à travers la saturation progressive de ses sites d'adsorption. Celle-ci se traduit par la progression d'un « front de contamination » à la fois influencée par le niveau de sollicitation de l'ouvrage et sa durée de fonctionnement (Mikkelsen et al. 1996 ; Tedoldi et al. 2015).
- **Les transferts hydriques** jouent un rôle prépondérant dans la rétention des contaminants : des vitesses d'infiltration excessives limitent en effet le temps de contact avec la matrice solide et peuvent alors donner lieu à un transfert rapide et en profondeur des polluants (Citeau 2008). La formation de chemins d'écoulement préférentiels, très fréquente dans les sols naturels (présence de macropores) et accrue dans les sols anthropisés ou argileux, constitue de la même manière un facteur susceptible d'accroître la mobilité des contaminants dissous comme particulaires.
- **Les modifications des équilibres physico-chimiques** au sein de la matrice solide peuvent également donner lieu à une remobilisation des polluants.

L'introduction d'espèces chimiques entrant en compétition avec les éléments-traces métalliques déjà adsorbés sur la phase solide ou formant des complexes solubles avec ces derniers favorise par exemple le relargage de ces éléments traces. En hiver, la

présence d'ions majeurs issus de fondants routiers ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ...) dans les eaux de ruissellement peut ainsi provoquer une remobilisation importante des polluants métalliques déjà présents dans le sol (Nelson and Yonge 2009; Norrström 2005).

La variation de salinité des eaux infiltrées peut plus généralement conduire à une déstructuration des particules et une solubilisation de la matière organique du sol, s'accompagnant alors d'un relargage des contaminants organiques ou métalliques sous forme, dissoute, particulaire ou colloïdale (macro-molécules organiques ou minérales formant une suspension ou un gel présentant une très grande surface spécifique) (McManus and Davis 2017).

La mobilisation des polluants piégés dans le sol peut également être facilitée par la présence de certaines substances organiques dans la solution sol. La formation de ligands solubles résultant de l'activité racinaire ou microbiologique, et libérés en quantité durant les périodes d'assèchement (rupture de la paroi cellulaire des micro-organismes), est ainsi susceptible de faciliter la migration de contaminants organiques ou métalliques (Durin et al. 2007). La solubilisation de la matière organique du sol peut par ailleurs être observée en présence de sels déverglaçants dans les eaux de ruissellement. La présence de matière organique colloïdale propice à l'adsorption peut également s'accompagner d'une augmentation de la mobilité des polluants. La mobilisation et la dispersion de cette matière colloïdale peut être accrue par différents facteurs (vitesses d'infiltration excessives, assèchement important du sol, présence de sels...) mais les mécanismes en jeu demeurent à ce jour mal compris (Tedoldi et al. 2016).

Enfin, des paramètres tels que le pH ou l'état d'oxydo-réduction contrôlent largement la spéciation des éléments-traces métalliques et la disponibilité des sites d'adsorption. Leur modification peut donc entraîner une mobilisation des contaminants piégés dans le sol. Si le pouvoir tampon du sol est généralement suffisant pour empêcher une modification du pH avec l'apport en eau de ruissellement, les conditions d'oxydo-réduction s'avèrent en revanche très dépendantes du fonctionnement hydraulique de l'ouvrage et de l'état hydrique du sol (Citeau 2008). Des conditions anoxiques, telle que rencontrées dans des dispositifs fréquemment inondés, peuvent par exemple accroître la mobilité de certains polluants métalliques.

### 2.2.2. *Éléments de synthèse*

**L'essentiel :** le sol est un système complexe où de nombreux processus contribuent à la rétention ou à la mobilité des contaminants (voir schéma de synthèse). La capacité du sol à retenir les polluants véhiculés par les eaux de ruissellement dépend essentiellement :

- de la nature des contaminants considérés
- des caractéristiques structurelles, hydrodynamiques et physico-chimiques du sol
- du fonctionnement hydrologique de l'ouvrage d'infiltration.

Il semble de manière générale important de souligner que les processus affectant les polluants dissous, plus ou moins réversibles et sensibles aux modifications des équilibres physico-chimiques dans le sol, demeurent plus difficiles à anticiper que les processus de filtration associés à la rétention des polluants particulaires, directement explicables par la structure et la texture du sol.

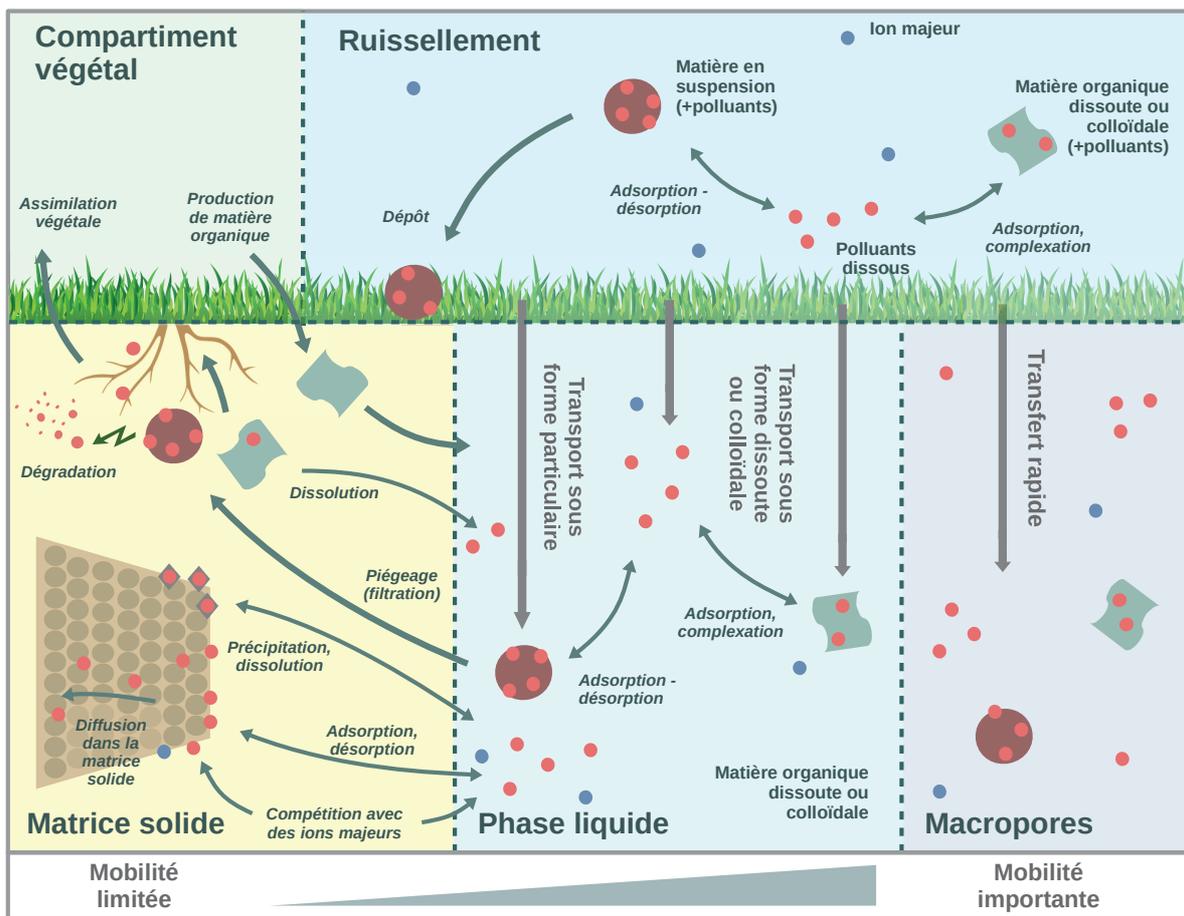


Figure 6: schéma de synthèse des processus impliqués dans la rétention et le transfert des contaminants dans le sol (adapté de Tedoldi et al, 2016)

### Les principales caractéristiques d'un sol et leur influence :

- **La texture** qui correspond à la répartition granulométrique des éléments minéraux (limons, argiles et sables). Une texture trop grossière pourra donner lieu à des vitesses d'infiltration excessivement élevées, ne garantissant pas un temps de contact de l'eau avec la matrice solide suffisant pour l'adsorption des polluants dissous. (Les capacités d'adsorption des sols les plus grossiers sont par ailleurs souvent limitées).
- **La structure** qui désigne l'agencement de ses constituants. La présence de chemins d'écoulements préférentiels favorisera le transfert des polluants particulaires et limitera, comme dans le cas de textures grossières, la rétention des espèces dissoutes.
- **La composition du sol** et notamment sa teneur en matière organique qui participe à la fois à la rétention des contaminants, au maintien de l'activité biologique et stabilise la structure du sol. La présence d'argile peut également être recherchée pour favoriser l'adsorption des polluants dissous, mais dans des proportions suffisamment faibles pour ne pas provoquer l'apparition de fissures. La Capacité d'Échange Cationique permet en partie de caractériser la capacité d'un sol à retenir les contaminants sur les argiles ou la matière organique.
- **Le caractère vivant** et notamment la présence de végétation. La production de matière organique et l'activité microbiologique dans la zone racinaire jouent en effet un rôle important dans la rétention des contaminants organiques et métalliques mais aussi dans la dégradation des micro-polluants organiques.

## 2.3. État des connaissances sur le risque de contamination des eaux souterraines

La contamination des sols et des eaux souterraines peut avoir pour origine une pollution chronique, saisonnière ou accidentelle. La synthèse des connaissances sur le risque de contamination au droit des ouvrages d'infiltration se limitera ici au cas des pollutions diffuses et dans une moindre mesure saisonnières.

L'impact chronique de l'infiltration des eaux pluviales peut de manière générale être abordé à travers l'étude (1) de l'accumulation des contaminants dans le sol et (2) de leur éventuel transfert vers le sous-sol et les nappes. Ces deux approches seront par la suite distinguées pour présenter l'état des connaissances actuelles quant au risque de contamination des eaux souterraines au niveau des ouvrages d'infiltration.

### 2.3.1. Retours d'expérience sur la rétention des contaminants dans le sol

La plupart des études menées sur des dispositifs d'infiltration des eaux pluviales permettent de conclure à une rétention importante des polluants dans les cinquante premiers centimètres du sol ou dans les sédiments accumulés en surface (Tedoldi et al. 2016, 2017b). Pour les composés organiques présents sous forme particulaire (HAP et autres hydrocarbures) dans les eaux de ruissellement, les études réalisées suggèrent que la contamination se limite le plus souvent aux premiers centimètres du sol. Pour les métaux (dont le comportement est nettement mieux documenté), les profils verticaux de concentration font apparaître des niveaux de contamination assez variables d'un ouvrage à l'autre (sans lien évident avec l'âge des ouvrages ou la nature des surfaces d'apport) mais présentant, le plus souvent, une forte diminution des concentrations au bout de quelques dizaines de centimètres de profondeur.

Dans quelques cas, une migration plus préoccupante des contaminants, et notamment des éléments-traces métalliques, a cependant pu être mise en évidence (Mikkelsen et al. 1996, 1997 ; Tedoldi et al. 2017a; Winiarski et al. 2006). Des concentrations métalliques importantes ont en effet été mesurées jusqu'à des profondeurs de l'ordre du mètre pour des dispositifs dont les sols présentaient à la fois des capacités de rétention réduites et des vitesses d'infiltration importantes (matériaux de texture grossière présentant de très faibles teneurs en matière organique). Pour de telles configurations, des teneurs élevées en HAP (en grande partie associés à la matière en suspension dans les eaux de ruissellement pour les sites concernés) ont également pu être observées en limite inférieure des zones de forte perméabilité, ce qui laisse supposer que le transport particulaire pourrait être en partie responsable de la migration des contaminants (Mikkelsen et al. 1996, 1997).

La mobilisation des éléments-traces métalliques vers des horizons de sol relativement profonds pourrait par ailleurs être facilitée par l'introduction de sels de déverglaçage dans les eaux de ruissellement (Norrström and Jacks 1998 ; Strömvall et al. 2007), et dans une moindre mesure par la présence de ligands organiques dans le sol (issus par exemple de l'activité microbienne dans la zone racinaire ou de la décomposition de la matière organique végétale). Le recours à une infiltration trop localisée pourrait constituer un facteur de risque supplémentaire, des teneurs importantes en polluant ayant été mesurées à des profondeurs supérieures à 50 cm pour des dispositifs compacts de type puisards ou pour des bassins très perméables où seule une partie (proche de l'arrivée d'eau) de la surface d'infiltration était généralement sollicitée (Barraud et al. 1999 ; Dechesne 2002). Dans le cas des puisards, l'injection de l'eau en profondeur, dans des horizons présentant des capacités de rétention beaucoup plus faibles qu'en surface, pourrait par ailleurs aggraver cette migration des contaminants dans le sous-sol. Enfin, les rares études menées sur des

dispositifs dont la durée de fonctionnement excède 30 ans suggèrent qu'une attention particulière devrait être prêtée au vieillissement des ouvrages, dont la capacité de rétention pourrait progressivement s'amenuiser (Tedoldi et al. 2016).

### ***2.3.2. Retours d'expérience sur le transfert vers les eaux souterraines***

Les observations portant directement sur le transfert des contaminants vers les nappes demeurent relativement rares. La plupart d'entre elles ne permettent pas de conclure à une incidence significative de l'infiltration des eaux pluviales sur la qualité des eaux souterraines et tendent donc à confirmer l'hypothèse d'une rétention importante des contaminants usuels dans les premiers centimètres de sol.

Pour les polluants « usuels », tels que les éléments-traces métalliques ou les hydrocarbures, le transfert de polluants vers les eaux souterraines n'a ainsi pu être mis en évidence que pour des configurations particulièrement défavorables, et notamment pour des sols présentant des teneurs en matière organique réduites (Nieber et al. 2014) ou pour des dispositifs d'infiltration compacts dont la distance à la nappe n'excède pas quelques dizaines de centimètres (Barraud et al. 1999). Ces études concluent donc le plus souvent que l'impact des dispositifs d'infiltration des eaux pluviales sur les eaux souterraines peut être considéré comme limité (FDER 1988 ; Fischer David et al. 2003; Marmonier et al. 2013) voire inexistant (Appleyard 1993 ; Datry et al. 2003).

De manière plus générale, l'impact de l'infiltration des eaux pluviales sur la qualité des eaux souterraines reste délicat à évaluer en raison de la difficulté à établir un bilan sur le long terme des flux pénétrants dans les ouvrages et de ceux dirigés vers les eaux souterraines (Barraud et al. 1999 ; Tedoldi et al. 2017b). De tels bilans n'ont jusqu'alors été menés que pour des solutions de type « bio-filtration », où les caractéristiques du milieu filtrant diffèrent à priori du sol en place (Flanagan et al. 2017), en ne considérant par ailleurs qu'un nombre limité d'évènements pluvieux et en s'appuyant bien souvent sur des essais en colonne (dont la représentativité peut être interrogée). Les résultats obtenus apparaissent toutefois encourageants puisqu'une rétention de l'ordre de 90 % est observée pour les métaux ou pour les HAP, même si des performances plus variables ont parfois été observées pour les métaux les plus labiles (Zn, Cu ou Cd) lorsque des matériaux trop grossiers sont utilisés (Davis et al. 2009 ; Roy-Poirier et al. 2010). L'efficacité de ce type de solution est en revanche plus incertaine pour les pathogènes, jusqu'alors peu étudiés (Kim et al. 2012).

Si l'incidence des ouvrages d'infiltration sur les concentrations en éléments-traces métalliques ou en HAP dans les eaux souterraines semble limité, des travaux ont en revanche permis de mettre en évidence une possible contamination de ces dernières par le chlore issu du salage routier, même s'il reste pour l'heure difficile de juger si ce transfert constitue une menace pour l'intégrité des eaux souterraines (Kwiatkowski et al. 2007 ; Nieber et al. 2014).

Une migration rapide de certains pesticides dans les sols a également pu être mise en évidence (Bucheli et al. 1998). Les apports liés aux retombées atmosphériques ou au traitement des espaces verts ne constituent pas une problématique spécifique aux techniques d'infiltration et doivent donc clairement être relativisés. L'utilisation de certains biocides pour le traitement de matériaux de construction soulève en revanche de réelles interrogations (Bucheli et al. 1998). Pour ces substances, la prévention de la contamination des nappes devrait vraisemblablement passer par une modification des pratiques de construction ou d'entretien des espaces verts.

Enfin, l'introduction dans le sol d'un certain nombre de substances dites « émergentes » tels que les phtalates, les alkylphénols, ainsi que d'autres composés organiques polaires ou hydrophiles utilisés pour des traitements de surface (Bressy et al. 2012), pourrait à terme

devenir problématique (LeFevre et al. 2015). Bien que leur comportement dans les ouvrages d'infiltration reste à ce jour mal documenté, de récents travaux suggèrent en particulier que la fraction dissoute de ces micro-polluants pourrait ne pas toujours être retenue de façon efficace dans les premiers centimètres du sol (Flanagan et al. 2017b).

### 2.3.3. Synthèse des connaissances par type de contaminants

La mobilité des contaminants s'avère de manière générale variable d'une espèce à l'autre et dépend de nombreux facteurs relatifs à la nature du sol ou à la composition des eaux de ruissellement.

Si la présence dans les eaux d'infiltration de composés peu mobiles ou peu abondants ne constitue pas une menace pour l'intégrité de la ressource souterraine (dès lors que le sol n'est pas trop perméable et ne présente pas de chemins préférentiels), d'autres espèces peuvent en revanche être identifiées comme potentiellement problématiques.

Le potentiel de contamination<sup>5</sup> des nappes d'une substance introduite dans un ouvrage d'infiltration dépend à la fois :

- de sa mobilité dans le sol ou de son incidence sur celle d'autres espèces
- de sa stabilité (ou de sa capacité à être dégradée)
- et de son abondance dans les eaux de ruissellement (relativement à sa toxicité)

Un tableau de synthèse tenant compte de ces trois composantes a été réalisé afin d'identifier les espèces les plus mobiles et les plus susceptibles de donner lieu à une contamination des eaux souterraines :

Famille de contaminant	Espèce	Mobilité dans le sol <sup>1</sup>	Potentiel de contamination <sup>1</sup>
Métaux lourds	Cadmium	Importante	Faible
	Chrome	Modérée	Faible
	Cuivre	Faible	Faible
	Nickel	Faible	Très faible
	Plomb	Très faible	Faible
	Zinc	Modérée	Modéré
Polluants organiques	COV	Importante	Faible
	HAP	Faible	Faible
	Autres hydrocarbures	Faible	Faible
	Biocides	Importante	Modéré
	Autres composés émergents <sup>2</sup>	Variable <sup>2</sup>	Inconnu <sup>2</sup>
Agents pathogènes	<i>Pas de distinction<sup>3</sup></i>	Modérée	Modéré
Sels	Chlorures	Importante	Modéré

Tableau 2: mobilité des contaminants et potentiel de contamination associé pour des ouvrages de gestion des eaux pluviales (adapté de Pitt et al, 1999).

<sup>1</sup>Voir éléments de justifications à l'annexe 3. <sup>2</sup>Composés organiques récemment identifiés dans les eaux de ruissellement et jusqu'alors insuffisamment étudiés (agents de vulcanisations, retardateurs de flammes, plastifiants). <sup>3</sup>Connaissances encore insuffisantes pour distinguer les différents agents

5 - L'évaluation du risque de contamination des eaux souterraines devra tenir compte de la nature et de la vulnérabilité de l'aquifère, en considérant notamment ses usages ou son niveau de dégradation.

### **2.3.4. Manque de connaissances et besoins futurs**

Si les connaissances actuelles tendent plutôt à démontrer que l'incidence de l'infiltration des eaux pluviales sur la qualité de la ressource en eau souterraine reste le plus souvent limitée, certaines situations (en termes de conception et fonctionnement d'ouvrage, de caractéristiques du sol, de surfaces d'apport, voire de typologie de nappe...) méritent probablement une certaine vigilance. En outre, il convient de remarquer que :

- Le nombre d'études s'étant intéressées à la migration des contaminants dans les dispositifs d'infiltration apparaît relativement faible au regard de la diversité des techniques susceptibles d'être mises en œuvre. Les dispositifs de gestion à la source conçus dans un objectif d'abattement des pluies courantes (n'ayant pas nécessairement vocation à infiltrer la totalité des volumes qu'ils collectent) semblent en particulier avoir été relativement peu étudiés en comparaison des solutions centralisées ou de techniques d'infiltration destinées à la gestion de pluies de périodes de retour plus importantes (typiquement supérieures à 1 an).
- Si les éléments-traces métalliques et les hydrocarbures ont été assez fréquemment étudiés, les connaissances actuelles concernant le risque d'une contamination des nappes par d'autres micro-polluants émergents (dont certains présentant vraisemblablement une mobilité importante dans le sol) demeurent nettement plus limitées.
- Les différents travaux se focalisent très souvent sur le sol, mais ne s'intéressent qu'assez rarement au niveau de contamination des percolats ou des nappes (ce qui est compréhensible vu les difficultés méthodologiques que cela peut soulever et la variabilité des contextes hydrogéologiques). Si l'approche consistant à évaluer la rétention des contaminants par l'étude de la contamination sur les couches superficielles du sol s'avère pertinente pour les contaminants usuels (qui possèdent une affinité modérée à forte pour les principaux constituants du sol), elle demeure en revanche peu adaptée dès lors que l'on s'intéresse aux composés les plus mobiles. De manière plus générale, une telle démarche ne permet pas réellement de quantifier le flux de polluants rejoignant les eaux souterraines.
- De nombreuses études n'ont par ailleurs pas réellement tenu compte de la variabilité spatiale de la contamination (plus importante sur les zones où la sollicitation hydraulique est la plus importante). Il semble donc aujourd'hui nécessaire, dans l'échantillonnage des sols et le suivi des ouvrages, de mieux prendre en considération la potentielle hétérogénéité des profils verticaux de contamination afin de mieux évaluer l'incidence l'infiltration des eaux pluviales sur la ressource en eau souterraine (Tedoldi et al. 2017a).
- Enfin, l'étude de dispositifs existants ne permet d'appréhender que partiellement l'incidence du vieillissement des ouvrages d'infiltration sur le risque de contamination des nappes, puisque ces solutions demeurent encore relativement récentes et que leur durée de fonctionnement excède rarement 30 ans. Un suivi pérenne, sur un site pilote, de l'évolution de la contamination dans le sol permettrait vraisemblablement de conforter les connaissances actuelles quant à l'effet du vieillissement des techniques d'infiltration.

## 3. Analyse des préconisations actuelles et identification des besoins futurs

### 3.1. Contraintes de conception et faisabilité

L'importance de certaines caractéristiques des ouvrages et du sol sous-jacent pour la rétention des contaminants est aujourd'hui connue. Les connaissances actuelles permettent ainsi de formuler, suivant la nature des surfaces d'apports et la charge polluante des volumes collectés, des recommandations d'ordre assez général sur la faisabilité de l'infiltration et les dispositions à prendre pour limiter le risque de contamination des eaux souterraines. De telles préconisations peuvent ainsi figurer dans des guides techniques mis à la disposition des aménageurs par les collectivités et les agences de l'eau ou dans des doctrines produites par les services de police de l'eau (cf. annexe 4).

Leur étude révèle néanmoins que :

- Certaines caractéristiques des dispositifs d'infiltration, et notamment celles relatives à la composition du sol (capacité d'adsorption, teneur en argile ou en matière organique) et au degré de sollicitation de l'ouvrage, ne font que rarement l'objet de recommandations en dépit de leur incidence sur la rétention des contaminants.
- Plus généralement, les indications quant à la faisabilité de l'infiltration et les recommandations en matière de conception des ouvrages s'avèrent assez hétérogènes, ce qui s'explique en partie par l'absence de règles claires au niveau national.
- Enfin, il demeure probablement difficile d'énoncer des prescriptions facilement traduisibles en des termes opérationnels faute de recul suffisant ou de valorisation des connaissances actuelles. (Cette situation, de nature à limiter le recours à l'infiltration apparaît particulièrement problématique, compte tenu de l'intérêt que présente l'infiltration pour la gestion des eaux pluviales).

Un tableau de synthèse est dans la suite proposé afin d'identifier, sur la base des résultats de la littérature et des recommandations actuelles, des « points de vigilance » quant à la faisabilité et la conception des dispositifs d'infiltration, en considérant des situations contrastées en termes de nature des surfaces d'apports ou de niveau de contamination des volumes collectés. Des « préconisations » apparaissant comme pertinentes au regard des connaissances actuelles, sans être pour autant nécessairement représentatives des pratiques actuelles (voir annexes 4) ont par la suite été rattachées à chacun de ces « points de vigilance ». Pour chaque préconisation identifiée, une confrontation des connaissances et des pratiques a enfin été effectuée afin de formuler des questionnements auxquels des réponses pourraient être apportées pour faciliter la conception des dispositifs d'infiltration tout en garantissant que leur impact sur les eaux souterraines demeurerait minime.

Certaines des préconisations présentées dans la suite restent formulées en des termes très généraux de manière à insister sur la nécessité d'une analyse de la faisabilité de l'infiltration au cas par cas, en fonction notamment du contexte local. L'introduction de critères techniques trop précis ou trop systématiques n'apparaît en effet pas toujours pertinent au vu des connaissances actuelles, ni même souhaitable, car de nature à freiner l'adoption des techniques d'infiltration.

Situation type	Points de vigilance	Préconisations	Besoins
<b>Zones résidentielles – eaux faiblement chargées</b> (issues de toitures sans éléments métalliques ou de voies de dessertes)	Centralisation des flux d'infiltration	Privilégier une infiltration diffuse (sur des surfaces suffisamment importantes au regard des surfaces d'apport)	Préciser l'incidence de la conception des ouvrages sur les interactions avec les nappes (en tenant compte de leur profondeur). Mieux appréhender l'hétérogénéité du sol et de l'infiltration
	Distance entre la nappe et la surface de l'ouvrage	Maintenir une distance « suffisante » à la nappe	
	Vitesse d'infiltration et écoulements préférentiels	Privilégier les perméabilités inférieures à 10 <sup>-4</sup> m/s et éviter les sols trop argileux (formation de fissures)	Mieux évaluer l'effet de l'hydrodynamique du sol sur la rétention des polluants
	Sols pollués	Infiltration proscrite en absence d'études spécifiques permettant d'évaluer le risque de contamination des eaux souterraines	Évaluer la pertinence d'une logique aussi exclusive (ex : présence de remblais ou de sols « poubelliers »)
<b>Zones résidentielles – eaux modérément chargées</b> (issues de toitures avec éléments métalliques ou de chaussée à circulation modérée avec polluants peu décantables)	Micro-polluants émergents	limiter à la source les émissions et privilégier des techniques végétalisées (pour une meilleure rétention et dégradation de ces composés)	Mieux étudier le devenir des contaminants émergents et notamment ceux associés aux matériaux de construction innovants
	Idem que précédents	Idem que précédents	Idem que précédents
<b>Grandes infrastructures routières – eaux assez fortement chargées</b> (charge particulaire importante, et fortes concentrations en métaux lourds et en hydrocarbures)	Présences de polluants sous forme dissoute ou liés à des particules de petite taille	Éviter autant que possible l'infiltration souterraine et privilégier les sols « vivants <sup>1</sup> ». Si perméabilité excessive du sol, mise en place d'un substrat favorisant l'adsorption des polluants dissous.	Préciser les caractéristiques de sol (remanié ou non) permettant une rétention efficace des espèces dissoutes
	Idem que précédents	Idem que précédents	Idem que précédents
<b>Zones d'activité – eaux fortement chargées</b> (rotation du stationnement, circulation lourde, chargement déchargement)	Risque de pollution accidentelle	Prévoir des solutions de déconnexion, confinement ou à défaut privilégier des perméabilités laissant le temps à une intervention (enlèvement du matériau)	
	Idem que précédents	Idem que précédents	Idem que précédents
<b>Aval des réseaux séparatifs pluviaux – eaux très fortement chargées avec apports potentiels d'eaux usées</b> (mauvais branchements ou déversement de réseaux unitaires)	Niveau de contamination important (en grande partie sous forme particulaire)	S'interroger sur l'opportunité d'un prétraitement par filtration ou décantation avant d'envisager l'infiltration	Préciser dans quelles conditions ce prétraitement deviendrait effectivement nécessaire
	Présence probable d'agents pathogènes	Privilégier autant que faire se peut la gestion à la source des eaux pluviales	Mieux évaluer le risque de contamination
	Risque de contamination accru car sollicitation hydraulique des ouvrages souvent importante (centralisation et apport par temps sec)	Surveiller l'évolution de la qualité des eaux souterraines au niveau des ouvrages centralisés	Développer des méthodes de suivi adaptées

Tableau 3: tableau de synthèse des points de vigilance et des besoins futurs.

<sup>1</sup>sol support d'une activité biologique et micro-biologique importante, avec la présence de végétaux, et le développement d'organismes et micro-organismes dans la zone racinaire (favorables pour la rétention des contaminants comme pour le maintien des propriétés hydrauliques du sol)

### **L'essentiel sur la faisabilité de l'infiltration**

Les résultats de la littérature scientifique confirment le rôle de filtration du sol pour les polluants particuliers. L'infiltration dans un sol présentant des teneurs suffisantes en matière organique peut également donner lieu à une rétention efficace des espèces présentes sous forme dissoute.

L'infiltration des eaux pluviales demeure le plus souvent possible, à condition d'éviter certaines configurations particulièrement défavorables :

- l'infiltration souterraine (ou sans passage à travers une couche de sol « vivant »)
- les sols excessivement perméables ou présentant des cheminements préférentiels
- les trop faibles ratios entre surface d'infiltration et surface revêtue drainée
- la présence d'une nappe superficielle peu profonde
- l'infiltration sur des sols pollués.

Les connaissances actuelles ne permettent pas véritablement de formuler de règles ou de critères numériques précis concernant ces différents points de vigilance, et de façon plus générale, les dispositions permettant de limiter les transferts de polluants vers les eaux souterraines.

La faisabilité de l'infiltration doit en tout état de cause être appréciée au cas par cas en tenant compte :

- de la vulnérabilité et des usages de la ressource souterraine
- de la nature des surfaces d'apports et de la nature des contaminants présents dans le ruissellement (en distinguant en particulier forme dissoute et particulaire)
- des propriétés hydrauliques mais aussi physico-chimiques du sol et du sous-sol
- des caractéristiques et du fonctionnement hydrologique de l'ouvrage (en prêtant une attention particulière à la façon dont se répartissent les flux d'infiltration à sa surface).

## **3.2. Besoins en matière de recherche et d'innovation**

L'analyse des préconisations sur la faisabilité des techniques d'infiltration des eaux pluviales, à l'aune des résultats de la littérature scientifique, conduit à proposer différentes orientations pour combler les lacunes actuelles dans (1) la connaissance de leur impact sur la qualité des eaux souterraines et (2) la prise en compte de cet impact potentiel dans les pratiques opérationnelles.

### ***3.2.1. Connaissances sur les impacts de l'infiltration des eaux pluviales***

#### **Évaluer le potentiel de contamination des substances émergentes**

Si les polluants « classiques », tels que les éléments-traces-métalliques ou les HAP ont été assez bien étudiés, le devenir des polluants émergents, et surtout ceux introduits sous forme dissoute dans les sols reste nettement plus incertain et soulève de réelles interrogations quant au risque de dégradation de la qualité des nappes souterraines. Il serait donc opportun de mieux comprendre le comportement de ces substances dans le

sol (mobilité, processus de dégradation...) et de préciser les conditions permettant de limiter leur transfert vers les nappes.

### **Assurer un meilleur suivi des flux exportés vers le sous-sol**

L'essentiel des études menées jusqu'alors se sont appuyées sur des mesures de la pollution accumulée dans le sol des ouvrages d'infiltration. En absence de bilan de masse, ce type d'approche ne renseigne que de façon partielle sur la capacité de rétention du sol et le risque d'un transfert des polluants en profondeur vers les nappes. Il apparaît donc nécessaire de mieux s'assurer de la qualité des eaux atteignant les nappes après leur passage à travers les couches superficielles du sol. L'estimation des flux de polluants dirigés vers les nappes pourrait alors s'appuyer sur des mesures in-situ et mais aussi des travaux de modélisation destinés simuler l'impact à long terme de l'infiltration, à l'échelle de l'ouvrage ou plus généralement à celle d'un bassin versant urbain.

### **Évaluer les conséquences de l'infiltration dans certains sols urbains**

Les sols urbains sont de manière générale des milieux très hétérogènes, fréquemment remaniés, à la fois constitués de matériaux naturels et de remblais d'origine anthropique. La présence de remblais potentiellement contaminés et l'existence de cheminements préférentiels conduit fréquemment à écarter l'infiltration des eaux pluviales. Compte tenu de la grande variabilité des caractéristiques hydrodynamiques de ces matériaux et des niveaux de contamination rencontrés, il conviendrait probablement de mieux apprécier le risque associé à la mise en œuvre de dispositifs d'infiltration sur ces derniers. Des essais de lixiviation, susceptibles d'être par la suite utilisés dans un contexte opérationnel, pourraient en particulier être réalisés pour évaluer le potentiel de contamination de ces matériaux. Approfondir l'étude des caractéristiques physiques de ces sols permettrait par ailleurs de mieux appréhender leur hétérogénéité à l'échelle de l'ouvrage et donc mieux maîtriser le risque de transferts en profondeur des contaminants au niveau des dispositifs d'infiltration (tout en facilitant leur dimensionnement).

## ***3.2.2. Les principaux besoins opérationnels***

### **Produire des outils pour faciliter la conception des ouvrages**

Les méthodes actuelles de dimensionnement des ouvrages d'infiltration demeurent essentiellement hydrauliques (ex : calcul d'un volume utile pour assurer la gestion d'une pluie de période de retour donnée). Il serait par conséquent opportun de mettre à disposition des acteurs de l'aménagement des solutions permettant d'évaluer, pour un scénario d'infiltration donné, l'incidence d'un ouvrage sur les eaux souterraines et ses performances en termes de maîtrise du ruissellement (ce qui supposera de mieux comprendre l'impact de la conception et du fonctionnement hydrologique d'un ouvrage sur la rétention des contaminants).

Les préconisations destinées à limiter, à travers une meilleure conception des ouvrages, les impacts potentiels de l'infiltration sur les eaux souterraines se limitent bien souvent à des considérations génériques sur la profondeur des nappes ou la perméabilité du sol (avec des critères précis s'appliquant de façon indifférenciée à tous les ouvrages d'infiltration). À l'inverse des guides anglo-saxons (Flanagan et al. 2017a), peu de références techniques françaises font par exemple figurer des prescriptions quant à la composition des sols sur lesquels l'infiltration est pratiquée. Une meilleure valorisation des connaissances actuelles semble ainsi nécessaire pour identifier les situations pour

lesquelles un amendement de surface serait nécessaire (et le cas échéant préciser sa composition). De manière plus générale, les recommandations actuelles devraient probablement être adaptées pour mieux tenir compte de la diversité des contextes rencontrés (nature du sol, type d'ouvrage, niveau de contamination des eaux de ruissellement, conditions hydrogéologiques...).

### **Relier l'impact de l'infiltration aux objectifs de gestion hydrologiques**

L'infiltration reste aujourd'hui encore largement envisagée sous l'angle de la maîtrise hydraulique du ruissellement. Sa faisabilité demeure alors essentiellement déterminée par la possibilité de gérer (en combinant stockage temporaire et infiltration) des volumes produits pour un événement de période de retour élevée (typiquement une pluie décennale), pour lequel la sollicitation du sol sera en principe importante, ce qui peut alors soulever des questions sur le risque de contamination de la ressource en eau souterraine. Toutefois, l'infiltration de volumes plus limités, correspondant à des événements « fréquents », présente un intérêt certain pour la maîtrise de la contamination (les pluies courantes représentant l'essentiel du volume de ruissellement à l'échelle annuelle). Préciser le lien entre « volume à infiltrer » et risque de contamination de la ressource souterraine serait donc souhaitable pour adapter au mieux les objectifs de gestion hydrologique au contexte local.

### **Proposer des méthodes pour le suivi des polluants accumulés dans les sols**

Il semble important de garder à l'esprit que, même si la mobilité des polluants demeure le plus souvent limitée, leur accumulation dans le sol pourrait à terme devenir problématique (avec par exemple le risque d'un épuisement des capacités de rétention du sol). La question de la pérennité des ouvrages et de la gestion du sol doit donc être posée. L'identification de critères d'intervention, liés au niveau de contamination du sol ou à la profondeur de migration de la pollution, pourrait s'avérer nécessaire. De la même manière, la gestion des ouvrages d'infiltration pourrait être facilitée par le développement de méthodes permettant d'anticiper l'évolution de la contamination dans le sol et d'identifier les actions à entreprendre (ex : « est-il nécessaire de procéder au curage et, si oui, sur quelles zones se concentrer ? »).

Dans un contexte de recours croissant à des dispositifs de gestion la source du ruissellement, le risque de contamination des eaux souterraines par des dispositifs vieillissants et dispersés sur un territoire doit enfin amener à interroger les modalités de suivi du patrimoine. Le développement de méthodes simplifiées, visant à surveiller par la mesure l'évolution de la contamination dans les ouvrages et évaluer le risque pour les eaux souterraines, devrait donc être envisagé.

## 4. Conclusions

### Un traitement inégal de l'enjeu dans la réglementation

La maîtrise des impacts de la contamination des eaux pluviales sur les eaux superficielles et souterraines constitue un enjeu majeur et s'inscrit dans le cadre des politiques communautaires et nationales de gestion de l'eau. L'intérêt des techniques d'infiltration des eaux pluviales, qui permettent de limiter les volumes et les flux de polluants dirigés vers les réseaux d'assainissement et les milieux superficiels, est de manière générale bien identifié dans les documents de planification (tels que les SDAGE) ou les outils de portée plus locale. La prise en compte de l'incidence de cette pratique sur la ressource souterraine demeure en revanche plus limitée, même si des prescriptions assez précises sur l'infiltration des eaux pluviales peuvent parfois être formulées lorsque le contexte local l'exige (nappe particulièrement vulnérable, sous-sols présentant des caractéristiques défavorables...). La question des conséquences potentielles de l'infiltration apparaît par ailleurs plus présente dans les documents émanant des services de police de l'eau que dans ceux des gestionnaires des réseaux d'assainissement dont la priorité reste le plus souvent d'encourager une gestion à la source du ruissellement pour limiter les volumes dirigés vers leurs systèmes de collecte.

### Des préconisations hétérogènes faute de valorisation des résultats scientifiques

L'analyse des références techniques produites par les collectivités, les services de l'État et les agences de l'eau fait apparaître une certaine hétérogénéité dans les recommandations quant à la faisabilité de l'infiltration au regard du risque de contamination de la ressource souterraine. Si ces différences peuvent en partie être expliquées par une perception variable des enjeux liés à l'infiltration d'un territoire à l'autre, elles mettent également en évidence l'absence de préconisations au niveau national et soulignent la nécessité d'une valorisation opérationnelle des connaissances actuelles.

### La faisabilité de l'infiltration au regard des connaissances actuelles

En dépit des interrogations quant à son incidence sur le sous-sol et les nappes, l'infiltration demeure le plus souvent un mode de gestion des eaux pluviales pertinent, contribuant à l'atteinte du bon état des masses d'eau superficielles, sans compromettre la qualité de la ressource souterraine. Les connaissances actuelles tendent en effet à montrer que les contaminants introduits dans les ouvrages d'infiltration sont pour la plupart très bien retenus dans les couches superficielles du sol, par filtration dans le cas des contaminants particuliers et par rétention physico-chimique dans le cas des espèces dissoutes.

La capacité de rétention d'un sol se révèle en grande partie dépendante de la nature des contaminants considérés. Pour les polluants associés aux particules en suspension, la fonction de filtration du sol peut en règle générale être assurée dès lors que le milieu infiltrant ne présente pas de cheminements préférentiels. Le piégeage des polluants particuliers se traduit alors par une accumulation de sédiment à la surface de l'ouvrage et dans les premiers centimètres de sol. Pour les espèces dissoutes, les mécanismes de rétention sont à la fois contrôlés par les propriétés physico-chimiques du sol (teneur en matière organique, argile...) et ses caractéristiques hydrauliques qui déterminent le temps de contact de l'eau avec la matrice solide (des vitesses d'écoulement trop élevées étant susceptibles de faciliter le transfert en profondeurs des polluants). Ces processus physico-chimiques sont en principe limités par la disponibilité des sites d'adsorption dans le sol ; la rétention des espèces dissoutes se manifeste alors par la formation d'un front de contamination correspondant à

l'épuisement progressif des capacités de rétention du sol. Si la migration de ce front de contamination apparaît le plus souvent très lente au regard de la durée de vie d'un ouvrage, celle-ci peut néanmoins être facilitée par une sollicitation excessive du sol (concentration des flux d'eau et de contaminants sur une surface d'infiltration réduite ou apport très importants en contaminants).

Le recours aux techniques d'infiltration demeure donc généralement possible à condition de s'assurer au cas par cas que, les propriétés hydrauliques, les caractéristiques physico-chimiques et le niveau de sollicitation du sol (essentiellement lié à des choix de conception) ne compromettent pas la rétention des contaminants, tout en tenant compte du contexte hydrogéologique, de la nature de la contamination présente dans les eaux de ruissellement et de la vulnérabilité de la ressource souterraine. (Les configurations les plus défavorables sont identifiées dans l'encadré « l'essentiel sur la faisabilité de l'infiltration » p. 24 tandis que des points de vigilance relatifs à la nature du sol ou à la conception de l'ouvrage sont fournis dans le tableau p. 23).

### **Les besoins de R&I**

Les connaissances actuelles permettent d'ores et déjà de formuler des recommandations quant à la faisabilité des techniques d'infiltration. Cependant, ces dernières demeurent le plus souvent très générales et n'apportent donc pas de réponses claires aux préoccupations liées à l'impact potentiel de l'infiltration sur les eaux souterraines. L'introduction, dans certaines références techniques, de critères plus précis, s'appliquant de façon indifférenciée à l'ensemble des scénarios d'infiltration, soulève par ailleurs des interrogations puisque risquant de disqualifier de façon systématique l'infiltration dans certaines situations. Il apparaît donc nécessaire de préciser ces recommandations et de les décliner en fonction du contexte local et de l'objectif de gestion poursuivi. Des critères renvoyant à certaines caractéristiques du sol, des eaux de ruissellement ou de l'ouvrage pourront en particulier être proposés en veillant à ne pas leur conférer un caractère trop systématique.

La capacité du sol à intercepter la pollution particulaire semble désormais bien établie, la plupart des études concluant à une rétention quasi-totale des sédiments présents dans le ruissellement (en absence de chemins d'écoulements préférentiels). Son comportement vis-à-vis de certaines substances émergentes et plus généralement des espèces présentes dans des proportions importantes sous forme dissoute demeure en revanche plus incertain et mériterait par conséquent d'être mieux étudié.

Plus généralement, l'incidence de l'infiltration des eaux pluviales devrait à terme être envisagée de manière plus globale, en s'intéressant non seulement aux transferts éventuels de contaminants dans le sous-sol mais également aux modifications de la température des eaux souterraines (cf. Foulquier et al. 2009) ou encore aux bénéfices induits en termes de maîtrise du ruissellement et de recharge des nappes.

Enfin, bien que la contamination des eaux pluviales puisse dans de nombreuses situations être retenue durant plusieurs décennies dans les horizons superficiels du sol, la perspective d'une accumulation de polluants dans des dispositifs disséminés à l'échelle d'un territoire impose de s'interroger à la fois sur le vieillissement des ouvrages et la gestion du sol ou des sédiments contaminés. Il semble en particulier important de souligner qu'au-delà d'une certaine durée de fonctionnement des ouvrages et en absence de mesures curatives, le sol ne sera plus nécessairement en mesure d'assurer la rétention des polluants présents dans les eaux de ruissellement. Le développement d'outils méthodologiques permettant d'assurer un suivi et une gestion adéquate des ouvrages d'infiltration sur le long terme s'avérera donc indispensable pour limiter durablement l'impact des eaux pluviales sur les masses d'eaux superficielles et souterraines.

## 5. Glossaire

**Abattement pluies courantes :** l'abattement des pluies courantes correspond à un objectif de gestion hydrologique visant à limiter les volumes rejetés vers les réseaux ou le milieu récepteur en favorisant l'infiltration et l'évapotranspiration pour les événements dits « fréquents » qui contribuent le plus largement au ruissellement à l'échelle annuelle.

**Abattement volumique :** rapport entre les volumes évacués par infiltration ou évapotranspiration et les volumes totaux collectés par l'ouvrage sur une période donnée (l'expression de l'abattement pour des périodes longues permet d'appréhender de façon plus satisfaisante la capacité d'un ouvrage à limiter les rejets vers l'aval).

**Adsorption :** processus physique ou chimique se traduisant par la fixation de particules depuis une phase liquide ou gazeuse sur une surface solide. L'adsorption peut mettre en jeu des interactions plus ou moins fortes, comme des interactions électrostatiques, des liaisons ioniques ou des liaisons de chimiques.

**Aquifère :** formation géologique qui contient de l'eau ou à travers laquelle circule de l'eau, de façon temporaire ou permanente.

**Capacité d'échange cationique :** quantité totale de cations (exprimée en mole par kilogramme) que le sol peut adsorber sur la matière argileuse et organique dans des conditions de pH données.

**Colloïdes :** macro-molécules organiques ou minérales formant une suspension ou un gel présentant une très grande surface spécifique.

**Décantation :** processus de séparation mécanique des particules solides en suspension dans une colonne d'eau sous l'effet de la gravité.

**Eaux souterraines :** eaux situées sous la surface du sol.

**Éléments traces métalliques :** métalloïdes naturellement présents dans la croûte terrestre, potentiellement polluants et toxiques au-delà d'un certain seuil.

**Fraction dissoute :** polluants associés dans les eaux pluviales à des particules de taille inférieures à 0,45  $\mu\text{m}$ .

**Fraction particulaire :** polluants associés dans les eaux pluviales à des particules de taille supérieures à 0,45  $\mu\text{m}$ .

**Filtration :** processus mécanique de rétention des particules solides en suspension dans l'eau à travers un milieu poreux tel que le sol.

**Gestion à la source :** la gestion à la source (ou « contrôle à la source »), comme principe de gestion des eaux pluviales, désigne l'emploi de solutions techniques distribuées sur un bassin versant, visant à maîtriser l'eau de pluie et de ruissellement.

**Infiltration :** processus correspondant au passage de l'eau (précipitations ou ruissellement acheminé en un point donné) à travers le sol (ou un autre matériau poreux). L'infiltration superficielle correspond au passage de l'eau dans le sol depuis sa surface tandis que l'infiltration souterraine désigne l'introduction de l'eau dans le sous-sol sans passage par les horizons les plus organiques du sol propices à la rétention des

contaminants.

**Macropores** : pores de dimension importante (typiquement supérieurs à 0.75  $\mu\text{m}$ ), lieu d'écoulements préférentiels favorisant le transfert rapide de l'eau et des contaminants dissous (mais aussi, suivant leurs dimensions, des espèces sous forme particulaires).

**Masse d'eau souterraine** : volume distinct d'eau souterraine à l'intérieur d'un ou plusieurs aquifères.

**Nappes phréatiques** : eau contenue dans les fissures ou les interstices d'un aquifère.

**Niveau de sollicitation d'un ouvrage** : distribution temporelle des volumes infiltrés sur la surface de sol donnant effectivement lieu à l'infiltration.

**Ouvrage d'infiltration** : dispositif destiné à recevoir les eaux de ruissellement issues de surfaces aménagées et donnant lieu à l'infiltration d'une fraction des volumes interceptés.

**Pluies courantes** : événement produisant des hauteurs d'eau relativement faibles mais représentant à l'échelle annuelle la majorité (plus de 80 %) des volumes précipités. Si la gestion de ces événements ne présente pas toujours d'intérêt sur le plan hydraulique, celle-ci s'avère en revanche importante pour une maîtrise des volumes de ruissellement et des flux de polluants associés à l'échelle annuelle.

**Puits d'infiltration** : ouvrage ponctuel de profondeur variable reposant sur le stockage et l'évacuation en sous sol des eaux pluviales, dans une structurée en béton et/ou un volume de matériaux drainants. Le diamètre des puits d'infiltration usuels est de l'ordre du mètre.

**Réseau ou système séparatif** : système de collecte, de stockage et d'évacuation des eaux urbaines pour lequel eaux usées et pluviales sont gérées séparément (par opposition aux systèmes unitaires).

**Réseau ou système unitaire** : système de collecte, de stockage et d'évacuation des eaux urbaines pour lequel eaux usées et pluviales sont gérées dans les mêmes infrastructures.

**Sédiment** : dépôt de matière solide initialement présent dans les eaux pluviales.

**Sol** : formation naturelle de surface, à structure meuble et d'épaisseur variable, résultant de l'altération de la roche mère sous-jacente sous l'influence de divers processus, physiques, chimiques et biologiques, au contact de l'atmosphère et des êtres vivants.

**Sol pollué** : sol qui, du fait d'anciens dépôts de déchets ou d'infiltration de substances polluantes, présente une pollution susceptible de provoquer une nuisance ou un risque pérenne pour les personnes ou l'environnement.

**Sol « vivant »** : sol support d'une activité biologique et micro-biologique importante, avec la présence de végétaux, et le développement d'organismes et de micro-organismes dans la zone racinaire (une telle activité biologique et microbiologique favorisant d'une part la rétention de certains contaminants et s'avérant d'autre part bénéfique pour le maintien des propriétés hydrauliques du sol)

**Sous-sol** : formations situées sous la couche superficielle de sol.

**Structure** : agencement dans l'espace des constituants du sol, déterminée par la forme des agrégats. La structure d'un sol peut être variable dans le temps, car dépendante de

son état hydrique mais également de facteurs chimiques et biologiques (l'agrégation est par exemple favorisée par la production de matière organique).

**Substances émergentes** : ensemble de substances, généralement non prises en compte dans la réglementation, et dont la présence dans l'environnement et la toxicité ou l'écotoxicité n'ont qu'assez récemment commencé à faire l'objet d'études.

**Texture** : répartition granulométrique des éléments minéraux du sol (limons, argiles et sables).

## 6. Liste des acronymes

**AAC** : Aires d’Alimentation de Captages en eau potable susceptibles de relever d’une décision nationale (captages dits « Grenelles ») ou définies dans le cadre des SDAGE.

**CGCT** : Code Général des Collectivités Territoriales

**COV** : Composés Organiques Volatiles, constituants une famille très large de produits organiques caractérisés par leur propension à se retrouver sous forme gazeuse dans l’atmosphère

**DCE** : Directive Cadre sur l’Eau (2000/60/CE)

**DERU** : Directive Eaux Résiduaires Urbaines (91/271/CEE du 21 mai 1991) relative à la collecte, au traitement et au rejet des eaux résiduaires urbaines

**HAP** : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques, sous-famille des hydrocarbures aromatiques, c’est-à-dire des molécules constituées d’atomes de carbone et d’hydrogène mais dont la structure comprend au moins deux cycles aromatiques condensés

**ICPE** : Installation Classée pour la Protection de l’Environnement définies à l’article L511-1 du Code de l’Environnement

**IOTA** : Installations, Ouvrages, Travaux et Activités. La nomenclature des installations, ouvrages, travaux et activités soumis à autorisation ou à déclaration en application des articles L. 214-1 à L. 214-6 du Code de l’Environnement est annexée à l’article R214-1 du même code.

**LEMA** : Loi sur l’Eau et les Milieux Aquatiques du 30 décembre 2006

**PLU** : Plan Local d’Urbanisme

**PPC** : Périmètres de Protection des Captages en eau potable, actés par un arrêté préfectoral

**PPR** : Périmètre de Protection Rapprochée concernant généralement quelques hectares autour des sites de captage

**SAGE** : Schéma d’Aménagement et de Gestion des Eaux

**SDAGE** : Schémas Directeur d’Aménagement et de Gestion des Eaux institués par la Loi sur l’Eau de 1992

## 7. Références utiles

1. Rubrique consacrée à la gestion des eaux pluviales du portail national sur l'eau et l'assainissement : <http://assainissement.developpement-durable.gouv.fr/pluvial.php>
2. Page Méli-Mélo (projet multimédia du Graie) consacrée l'infiltration des eaux pluviales : <http://www.graie.org/eaumelimelo/Meli-Melo/Questions/Infiltration-des-eaux-pluviales/>
3. Recommandations à l'issu du programme GESSOL sur les ouvrages d'infiltration et la fonction filtration : [www.gessol.fr/sites/default/files/Gessol-ouvrages-infiltration-web.pdf](http://www.gessol.fr/sites/default/files/Gessol-ouvrages-infiltration-web.pdf)
4. Guide de l'Agence de l'Eau Seine Normandie de 2013 sur les « outils de bonne gestion des eaux de ruissellement en zones urbaines »
5. Synthèse de 2009 du projet ANR (Agence Nationale de la Recherche) Ecopluies, « L'infiltration en questions : recommandations pour la faisabilité, la conception et la gestion des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales en milieu urbain »

## 8. Bibliographie

- AERM. (2016). "Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux du Bassin Rhin-Meuse." Agence de l'eau Rhin-Meuse.
- AERMC. (2016). "Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux Rhône Méditerranée." Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse.
- AESN. (2013). "Outils de bonne gestion des eaux de ruissellement en zone urbaine." Agence de l'eau Seine Normandie.
- AESN. (2016). "Le SDAGE 2016-2021 du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands." Agence de l'eau Seine Normandie.
- Appleyard, S. J. (1993). "Impact of stormwater infiltration basins on groundwater quality, Perth metropolitan region, Western Australia." *Environmental Geology*, 21(4), 227–236.
- Aryal, R. K., Furumai, H., Nakajima, F., and Hossain, M. A. (2007). "Vertical distribution and speciation of heavy metals in stormwater infiltration facilities: possible heavy metals release to groundwater." *Water Practice and Technology*, 2(2).
- Bardin, J. P., Gautier, A., Barraud, S., and Chocat, B. (2001). "The purification performance of infiltration basins fitted with pretreatment facilities: a case study." *Water Science and Technology*, 43(5), 119.
- Barraud, S., Gautier, A., Bardin, J. P., and Riou, V. (1999). "The impact of intentional stormwater infiltration on soil and groundwater." *Innovative Technologies in Urban Storm Drainage 1998 (Novatech '98)*, 39(2), 185–192.
- Bressy, A. (2012). "Flux de micropolluants dans les eaux de ruissellement urbaines : effets de différents modes de gestion à l'amont." Thèse de doctorat, Université Paris-Est.
- Bressy, A., Gromaire, M.-C., Lorgeoux, C., Saad, M., Leroy, F., and Chebbo, G. (2012). "Towards the determination of an optimal scale for stormwater quality management: Micropollutants in a small residential catchment." *Special Issue on Stormwater in urban areas*, 46(20), 6799–6810.
- Bucheli, T. D., Müller, S. R., Heberle, S., and Schwarzenbach, R. P. (1998). "Occurrence and Behavior of Pesticides in Rainwater, Roof Runoff, and Artificial Stormwater Infiltration." *Environmental Science & Technology*, 32(22), 3457–3464.
- CD94. (2014). "Zonage départemental d'assainissement du Val de Marne." Direction des services de l'eau et de l'environnement du Val de Marne.
- Cederkvist, K., Ingvertsen, S. T., Jensen, M. B., and Holm, P. E. (2013). "Behaviour of chromium(VI) in stormwater soil infiltration systems." *Applied Geochemistry*, 35, 44–50.
- CERTU. (2003). "La ville et son assainissement." Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques.
- CG93. (2011). "Cartographie de l'infiltrabilité dans les sols du département des Hauts-de-Seine." Conseil Général des Hauts-de-Seine.
- Citeau, L. (2008). *Transfert eaux-sols-plantes de micropolluants : état des connaissances et application aux eaux de ruissellement urbaines*. Rapport de synthèse, Agence de l'Eau Seine Normandie, Nanterre.
- Clozel, B., Ruban, V., Durand, C., and Conil, P. (2006). "Origin and mobility of heavy metals in contaminated sediments from retention and infiltration ponds." *Applied Geochemistry*, 21(10), 1781–1798.
- COBAHMA. (2009). "Limitation du ruissellement à 1l/s/ha : cahier d'application." Comité du bassin hydrographique de la Mauldre et de ses affluents.
- Datry, T., Malard, F., Vitry, L., Hervant, F., and Gibert, J. (2003). "Solute dynamics in the bed sediments of a stormwater infiltration basin." *Journal of Hydrology*, 273(1), 217–233.
- Davis, A. P., Hunt William F., Traver Robert G., and Clar Michael. (2009). "Bioretention Technology: Overview of Current Practice and Future Needs." *Journal of Environmental Engineering*, 135(3), 109–117.
- Davis, A. P., Shokouhian, M., and Ni, S. (2001). "Loading estimates of lead, copper, cadmium, and zinc in urban runoff from specific sources." *Chemosphere*, 44(5), 997–1009.

- DDT-03. (2014). "La gestion des eaux pluviales et la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques." Direction Départementale des Territoires de l'Allier, Service Police de l'Eau.
- DDT-37. (2008). "La gestion des eaux pluviales dans les Projets d'Aménagement." Direction Départementale des Territoires d'Indre-et-Loire, Service Police de l'Eau.
- DDTM-59. (2012). "Eaux pluviales - Réglementation et doctrines." Direction Départementale des Territoires et de la Mer du Nord.
- Dechesne, M. (2002). "Connaissance et modélisation du fonctionnement des bassins d'infiltration d'eaux de ruissellement urbain pour l'évaluation des performances techniques et environnementales sur le long terme." Thèse de doctorat, Insa Lyon.
- Dechesne, M., Barraud, S., and Bardin, J.-P. (2004). "Spatial distribution of pollution in an urban stormwater infiltration basin." *Journal of Contaminant Hydrology*, 72(1), 189–205.
- DGALN. (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 - Principes généraux de gestion des eaux pluviales." Direction Générale de l'Aménagement, du Logement et de la Nature.
- Dierkes, C., and Geiger, W. F. (1999). "Pollution retention capabilities of roadside soils." *Water Science and Technology*, 39(2), 201.
- DISE-76. (2014). "Instruction des projets de gestion des eaux pluviales en infiltration en Seine-Maritime dans le cadre des procédures au titre de la Loi sur l'Eau." Délégation InterServices de l'Eau de Seine Maritime.
- DISEN-60. (2012). "Document Guide à l'élaboration du dossier Loi sur l'Eau et de recommandations techniques à l'usage des aménageurs dans le département de l'Oise." Préfecture de l'Oise (Délégation Inter-Services de l'Eau et de la Nature).
- Durin, B., Béchet, B., Legret, M., and Le Cloirec, P. (2007). "Role of colloids in heavy metal transfer through a retention-infiltration basin." *Water Science and Technology*, 56(11), 91.
- FDER. (1988). *Effects of stormwater management systems on groundwater quality*. Florida Department of Environmental Regulation, Orlando, Florida.
- Fischer David, Charles Emmanuel G., and Baehr Arthur L. (2003). "Effects of stormwater infiltration on quality of groundwater beneath retention and detention basins." *Journal of Environmental Engineering*, 129(5), 464–471.
- Flanagan, K., Branchu, P., and Gromaire, M.-C. (2017a). "Les ouvrages de biorétention : synthèse des guides internationaux de conception et de maintenance des filtres plantés pour le traitement à la source des eaux de ruissellement urbaines." *TSM*, (12), 89–126.
- Flanagan, K., Deshayes, S., Saad, M., Caupos, E., Boudahmane, L., Patribane, C., Dubois, P., Meffray, L., Branchu, P., and Gromaire, M.-C. (2017b). "Water quality performance of road runoff biofilters: retention of particulate and dissolved phase micropollutants." Prague.
- Foulquier, A., Malard, F., Barraud, S., and Gibert, J. (2009). "Thermal influence of urban groundwater recharge from stormwater infiltration basins." *Hydrological Processes*, 23(12), 1701–1713.
- GLM. (2015). "Aménagement et eaux pluviales, Traitement de la pollution des eaux pluviales et protection des milieux aquatiques sur le territoire du Grand Lyon." Grand Lyon Métropole.
- Grebel, J. E., Mohanty, S. K., Torkelson, A. A., Boehm, A. B., Higgins, C. P., Maxwell, R. M., Nelson, K. L., and Sedlak, D. L. (2013). "Engineered Infiltration Systems for Urban Stormwater Reclamation." *Environmental Engineering Science*, 30(8), 437–454.
- Gromaire, M. C., Van de Voorde, A., Lorgeoux, C., and Chebbo, G. (2015). "Benzalkonium runoff from roofs treated with biocide products – In situ pilot-scale study." *Water Research*, 81, 279–287.
- Hatt, B. E., Fletcher, T. D., and Deletic, A. (2008). "Hydraulic and pollutant removal performance of fine media stormwater filtration systems." *Environmental Science & Technology*, 42(7), 2535–2541.
- Houng, L., and Davis, A. P. (2008). "Urban particle capture in bioretention media. I: laboratory and field studies." *Journal of Environmental Engineering*, 134(6), 409–418.
- Kim, M. H., Sung, C. Y., Li, M.-H., and Chu, K.-H. (2012). "Bioretention for stormwater quality improvement in Texas: Removal effectiveness of Escherichia coli." *Technology for Sustainable Water Environment*,

- Kumar, M., Furumai, H., Kurisu, F., and Kasuga, I. (2013). “Potential mobility of heavy metals through coupled application of sequential extraction and isotopic exchange: Comparison of leaching tests applied to soil and soakaway sediment.” *Chemosphere*, 90(2), 796–804.
- Kwiatkowski, M., Welker, A. L., Traver, R. G., Vanacore, M., and Ladd, T. (2007). “Evaluation of an infiltration best management practice utilizing Pervious Concrete 1.” *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 43(5), 1208–1222.
- LeFevre, G. H., Paus, K. H., Natarajan, P., Gulliver, J. S., Novak, and Hozalski, R. M. (2015). “Review of dissolved pollutants in urban storm water and their removal and fate in bioretention cells.” *Journal of Environmental Engineering*, 141(1), 04014050.
- Legret, M., Nicollet, M., Miloda, P., Colandini, V., and Raimbault, G. (1999). “Simulation of heavy metal pollution from stormwater infiltration through a porous pavement with reservoir structure.” *Innovative Technologies in Urban Storm Drainage 1998 (Novatech '98)*, 39(2), 119–125.
- Legret, M., and Pagotto, C. (1999). “Evaluation of pollutant loadings in the runoff waters from a major rural highway.” *Science of The Total Environment*, 235(1), 143–150.
- Lenouveau, N., Queune, A., Gérolin, A., Ferro, Y., Kerloch, B., Vallin, V., Degrave, M., and Ferrier, V. (2016). “La gestion des eaux pluviales en France : une ambition nationale, des spécificités locales, quelles doctrines de l’Etat territorial ?” Lyon, 10.
- Leroy, M. C., Legras, M., Marcotte, S., Moncond’huy, V., Machour, N., Le Derf, F., and Portet-Koltalo, F. (2015). “Assessment of PAH dissipation processes in large-scale outdoor mesocosms simulating vegetated road-side swales.” *Science of The Total Environment*, 520, 146–153.
- LM. (2012). “Guide de gestion durable des eaux pluviales de Lille Métropole.” Lille Métropole.
- Marmonier, P., Maazouzi, C., Foulquier, A., Navel, S., François, C., Hervant, F., Mermillod-Blondin, F., Vieney, A., Barraud, S., Togola, A., and Piscart, C. (2013). “The use of crustaceans as sentinel organisms to evaluate groundwater ecological quality.” *Ecological Engineering*, 57, 118–132.
- Mason, Y., Ammann, A. A., Ulrich, A., and Sigg, L. (1999). “Behavior of heavy metals, nutrients, and major components during roof runoff infiltration.” *Environmental Science & Technology*, 33(10), 1588–1597.
- McGechan, M. B., and Lewis, D. R. (2002). “SW—Soil and water: transport of particulate and colloid-sorbed contaminants through soil, Part 1 : general principles.” *Biosystems Engineering*, 83(3), 255–273.
- McManus, M., and Davis, A. P. (2017). “Impact of periodic high concentrations of salts on bioretention nutrients performance.” Prague.
- Mikkelsen, P. S., Häfliger, M., Ochs, M., Jacobsen, P., Tjell, J. C., and Boller, M. (1997). “Pollution of soil and groundwater from infiltration of highly contaminated stormwater – A case study.” *Water Science and Technology*, 36(8), 325–330.
- Mikkelsen, P. S., Häfliger, M., Ochs, M., Tjell, J. C., Jacobsen, P., and Boller, M. (1996). “Experimental assessment of soil and groundwater contamination from two old infiltration systems for road run-off in Switzerland.” *Highway and Urban Pollution*, 189–190, 341–347.
- Mikkelsen, P. S., Weyer, G., Berry, C., Waldent, Y., Colandini, V., Poulsen, S., Grotehusmann, D., and Rohlfing, R. (1994). “Pollution from urban stormwater infiltration.” *Water Science and Technology*, 29(1–2), 293.
- MISE-69. (2004). “Guide de préconisation des techniques applicables aux rejets des eaux pluviales dans le département du Rhône.” Préfecture du Rhône.
- MISE-70. (2007). “Doctrine relative aux recommandations techniques applicables aux rejets d’eaux pluviales dans le milieu naturel suite à l’imperméabilisation de terrains naturels ou agricoles.” Mission Inter-Service de l’Eau de Haute-Saône.
- MISE-RA. (2010). “Guide pour l’élaboration des dossiers « LOI SUR L’EAU » Rubrique 2.1.5.0 - Rejet d’eaux pluviales.” DREAL et DDT Rhône Alpes– Guide Document d’incidence - Eaux Pluviales.
- MTES. (2012). *Doctrine relative à la séquence éviter, réduire et compenser les impacts sur le milieu naturel*. Doctrine, Ministère de la transition écologique et solidaire, 9.
- Murakami, M., Nakajima, F., and Furumai, H. (2008). “The sorption of heavy metal species by sediments in

soakaways receiving urban road runoff." *Chemosphere*, 70(11), 2099–2109.

- Nelson, S. S., and Yonge, D. R. (2009). "Effects of road salts on heavy metal mobility in two eastern Washington soils." *Journal of Environmental Engineering*, 135(7), 505–510.
- Nieber, J. L., Arika, C. N., and Lahti, L. (2014). *The impact of stormwater infiltration practices on groundwater quality*. Project report, St. Anthony Falls Laboratory, University of Minnesota, 122.
- Norrström, A. ., and Jacks, G. (1998). "Concentration and fractionation of heavy metals in roadside soils receiving de-icing salts." *Science of The Total Environment*, 218(2), 161–174.
- Norrström, A. C. (2005). "Metal mobility by de-icing salt from an infiltration trench for highway runoff." *Applied Geochemistry*, 20(10), 1907–1919.
- Pitt, R., Clark, S., and Field, R. (1999). "Groundwater contamination potential from stormwater infiltration practices." *Urban Water*, 1(3), 217–236.
- Plassard, F., Winiarski, T., and Petit-Ramel, M. (2000). "Retention and distribution of three heavy metals in a carbonated soil: comparison between batch and unsaturated column studies." *Journal of Contaminant Hydrology*, 42(2), 99–111.
- Roy-Poirier, A., Champagne, P., and Fillion, Y. (2010). "Review of bioretention system research and design: past, present, and future." *Journal of Environmental Engineering*, 136(9), 878–889.
- S-EL. (2009). "Règlement du Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux de l'Est Lyonnais." Sage de l'Est Lyonnais.
- SIBA. (2016). "Guide technique des eaux pluviales du Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon." Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon.
- S-INR. (2015). "Plan d'aménagement et de gestion durable & règlement du SAGE III-Nappe-Rhin." SAGE III-Nappe-Rhin.
- SIVOM-RM. (2015). "Règlement du service public de l'assainissement collectif de la région mulhousienne." Syndicat Intercommunal à Vocation Multiple de la Région de Mulhouse.
- S-NBVV. (2016). "Règlement du SAGE Nappe et Basse Vallée du Var." SAGE Nappe et Basse Vallée du Var.
- Strömvall, A.-M., Norin, M., and Pettersson, T. (2007). "Organic contaminants in urban sediments and vertical leaching in road ditches." *Highway and Urban Environment*, G. M. Morrison and S. Rauch, eds., Springer Netherlands, 235–247.
- Sun, T.-R., Cang, L., Wang, Q.-Y., Zhou, D.-M., Cheng, J.-M., and Xu, H. (2010). "Roles of abiotic losses, microbes, plant roots, and root exudates on phytoremediation of PAHs in a barren soil." *Journal of Hazardous Materials*, 176(1), 919–925.
- SY. (2016). "Règlement du service public d'assainissement du syndicat de l'Orge." Syndicat de l'Orge.
- SYSEG. (2017). "Règlement du service public d'assainissement collectif du syndicat pour la station d'épuration de Givors." Syndicat pour la station d'épuration de Givors.
- Tedoldi, D. (2017). "Mesure et modélisation de la contamination du sol dans les ouvrages de gestion à la source du ruissellement urbain." Thèse de doctorat, Paris-Est.
- Tedoldi, D., Chebbo, G., Pierlot, D., Branchu, P., Kovacs, Y., and Gromaire, M.-C. (2017a). "Spatial distribution of heavy metals in the surface soil of source-control stormwater infiltration devices – Inter-site comparison." *Science of The Total Environment*, 579, 881–892.
- Tedoldi, D., Chebbo, G., Pierlot, D., Kovacs, Y., and Gromaire, M.-C. (2016). "Impact of runoff infiltration on contaminant accumulation and transport in the soil/filter media of Sustainable Urban Drainage Systems: a literature review." *Science of The Total Environment*, 569–570, 904–926.
- Tedoldi, D., Chebbo, G., Pierlot, D., Kovacs, Y., and Gromaire, M.-C. (2017b). "Assessment of metal and PAH profiles in SUDS soil based on an improved experimental procedure." *Journal of Environmental Management*, 202, 151–166.
- Tedoldi, D., Gromaire, M.-C., Chebbo, G., Pierlot, D., and Kovacs, Y. (2015). "Modelling the Long-term Accumulation and migration of heavy metals in sustainable urban drainage systems – A Sensitivity Analysis,." Mont-Saint Anne, Quebec, Canada.
- Weiss, P. T., LeFevre, G., and Gulliver, S. (2008). *Contamination of soil and groundwater due to stormwater infiltration practices – A literature review*. St. Anthony Falls Laboratory, University of Minnesota, 45.

- Winiarski, T., Bedell, J.-P., Delolme, C., and Perrodin, Y. (2006). "The impact of stormwater on a soil profile in an infiltration basin." *Hydrogeology Journal*, 14(7), 1244–1251.
- Zgheib, S. (2009). "Flux et sources des polluants prioritaires dans les eaux urbaines en lien avec l'usage du territoire." Thèse de doctorat, Université Paris-Est.

## Liste des figures

Figure 1: synoptique sur la réglementation de l'infiltration des eaux pluviales.....	10
Figure 2: distinction entre infiltration superficielle avec passage à travers le sol et infiltration souterraine.....	11
Figure 3: représentation schématique des processus de filtration mécanique s'appliquant aux polluants présents sous forme particulaire.....	13
Figure 4: représentation schématique des processus de rétention s'appliquant aux contaminants présents sous forme dissoute.....	14
Figure 5: représentation schématique des processus de dégradation et d'extraction végétale.....	15
Figure 6: schéma de synthèse des processus impliqués dans la rétention et le transfert des contaminants dans le sol (adapté de Tedoldi et al, 2016).....	17

## Liste des tableaux

Tableau 1: typologie d'ouvrage d'infiltration.....	12
Tableau 2: mobilité des contaminants et potentiel de contamination associé pour des ouvrages de gestion des eaux pluviales.....	20
Tableau 3: tableau de synthèse des points de vigilance et des besoins futurs.....	23

## Liste des annexes

Annexe 1 : exemples de dispositions ou de préconisations relatives à l'infiltration des eaux pluviales

Annexe 2 : niveaux de services associés à un système ou ouvrage de gestion des eaux pluviales

Annexe 3 : construction du tableau de synthèse sur le potentiel de contamination de différentes catégories de polluants

Annexe 4 : illustration de l'hétérogénéité des préconisations relatives à l'infiltration des eaux pluviales

# Annexe 1 – Exemples de dispositions ou préconisations relatives à l’infiltration des eaux pluviales

## 1. Dispositions ou préconisations relatives aux PPR/AAC

Type	Référence	Prescriptions
DUP de travaux de captage et mise en place de périmètres de protection	Arrêté préfectoral DTARS-SE 27/11 (Arnières-sur-Iton) (Préfecture de l'Eure)	En Périmètre de Protection Rapprochée (PPR), les eaux issues de voies de circulation doivent être gérées dans des ouvrages étanches et évacuées en dehors du PPR.
	Arrêté préfectoral 2012 065-0002 (Lanarce) (Préfecture de l'Ardèche)	En PPR, les puits d'infiltration des eaux pluviales sont prohibés et les fossés en bordure de voirie doivent être étanches.
	Arrêté préfectoral du 07/10/2013 (Lintot les Bois) (Préfecture de Seine Maritime)	Mise en place d'opérations spécifiques de suivi d'entretien des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales sur une partie du PPR
Guides, doctrines SPE	Cartographie de l'infiltrabilité dans les Hauts-de-Seine du Conseil Départemental Hauts-de-Seine (CG93 2011)	Interdiction d'infiltrer sur les périmètres de protection rapprochés des captages
	Doctrine Eau Pluviale des services de police de l'eau dans le département du Nord (DDTM-59 2012)	Interdiction des puits d'infiltration sur les périmètres de protection rapprochés des captages
	Guide de Gestion Durable des Eaux pluviales, Lille Métropole (LM 2012)	Choix du dispositif d'infiltration conditionné par la présence d'AAC. Avis d'un hydrogéologue agréé demandé pour une infiltration en AAC.
	Guide Méthodologique Aménagement et Eaux Pluviales de la métropole du Grand Lyon (GLM 2015)	Prescriptions particulières pour l'infiltration en AAC avec notamment la nécessité de respecter une épaisseur de ZNS plus importante sur certains sols

## 2. Dispositions figurant dans des outils de planification de la gestion de l'eau

Type	Référence	Prescriptions
SDAGE	Seine Normandie (AESN 2016)	L'infiltration à la source des eaux pluviales est encouragée. Une disposition très générale souligne la nécessité de limiter les impacts de l'infiltration en nappe.
	Rhône-Méditerranée-Corse (AERMC 2016)	Infiltration proscrite en milieu karstique
	Rhin-Meuse (AERM 2016)	En absence de nappe affleurante, l'infiltration peut être réalisée sans grande difficulté pour les perméabilités supérieures à $10^{-6}$ m/s.
SAGE	SAGE III-Nappe-Rhin (S-INR 2015)	Pour les projets résidentiels à très faible risque de pollution, l'infiltration des eaux de voirie peut être envisagée sous réserve d'une présence de 1 mètre de sol non saturé par rapport au niveau des plus hautes eaux des nappes, d'une perméabilité inférieure à $10^{-5}$ m/s ou d'une justification de l'absence de risque (trafic inférieur à 300 véhicules par jour, voirie interdite aux poids lourds) et d'une procédure d'intervention en cas de pollution clairement identifiée.
	SAGE de l'Est Lyonnais (S-EL 2009)	Prétraitement des eaux de voirie nécessaire avant leur infiltration.
	SAGE Nappe et Basse Vallée du Var (S-NBVV 2016)	Les rejets d'eaux pluviales doivent préférentiellement être dirigés vers les eaux superficielles. Le cas échéant, les rejets par infiltration des eaux pluviales dans les eaux souterraines doivent obligatoirement subir un traitement avant rejet et être compatible avec les caractéristiques du sol.

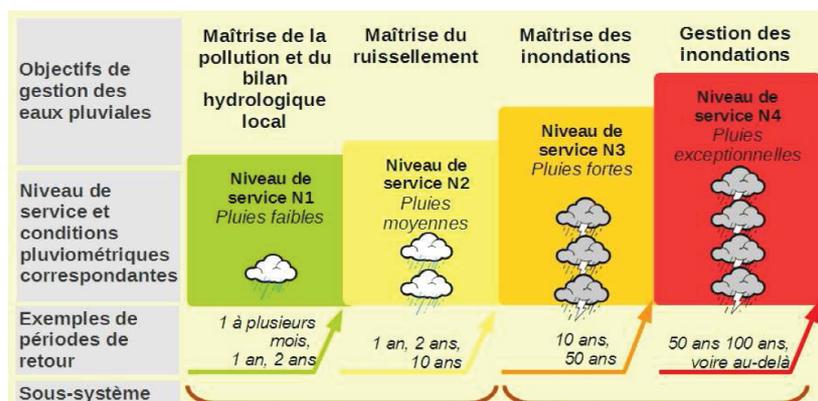
### 3. Dispositions figurant dans des documents de portée locale, à l'échelle de la collectivité territoriale

Type	Référence	Prescriptions
Règlements d'assainissement	Règlement d'assainissement du Syndicat de la région Mulhousienne (SIVOM-RM 2015)	L'infiltration des eaux pluviales nécessite la mise en œuvre de prétraitements appropriés à moins que ces dernières ne soient issues de toitures en zone résidentielle.
	Règlement d'assainissement du syndicat de l'Orge (SY 2016)	« L'injection horizontale » des eaux pluviales doit être privilégiée lorsque la nappe est peu profonde.
	Règlement d'assainissement du syndicat pour la station d'assainissement de Givors (SYSEG 2017)	L'infiltration peut être considérée comme possible si la perméabilité du sol est comprise entre $10^{-5}$ et $10^{-2}$ m/s.
Doctrine de services police de l'eau	Doctrine des services de police de l'eau dans le département de la Seine Maritime (DISEN-60 2012)	Les eaux pluviales de toiture des lotissements d'habitation, des bâtiments agricoles et des espaces pour piétons peuvent être infiltrées sans traitement préalable dans le sol à faible profondeur par un dispositif horizontal.
	Doctrine des services de police de l'eau dans le département de la Seine Maritime (DISE-76 2014)	L'infiltration ne peut être envisagée si la cote des plus hautes eaux de la nappe est située à moins de 1 m du fond de l'ouvrage.
	Doctrine des services de police de l'eau dans le département de l'Allier (DDT-03 2014)	Infiltration des eaux de toitures sans précautions particulières pour les sols de perméabilité supérieure à $10^{-5}$ m/s à condition de maintenir une distance de 1 m avec la nappe.

## Annexe 2 – Niveaux de services associés à un système ou ouvrage de gestion des eaux pluviales

Annexe adaptée de la fiche instructeur n°1 : « 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 – Principes généraux de gestion des eaux pluviales », (DGALN 2014)

La notion de « niveaux de services », telle qu'introduite dans le guide « La ville et son assainissement » (CERTU 2003), désigne la priorisation des objectifs de gestion assurés par un système d'assainissement urbain, et par extension un ouvrage de gestion des eaux pluviales, selon l'importance de la pluie considérée. À chaque niveau de service sont donc associés (1) des objectifs de gestion eaux pluviales, allant de la maîtrise de la pollution à la gestion des inondations, et (2) un type d'évènement pluvieux caractérisé par une période de retour :



Priorisation des objectifs de gestion en fonction des conditions pluviométrique

### Description des niveaux de services :

Niveau de service	Objectifs visés	Fonctions assurées par le système
N1 Pluies faibles	<ul style="list-style-type: none"> <li>Maîtriser l'impact des rejets sur la qualité de l'eau et les milieux récepteurs</li> <li>Maîtriser le ruissellement et prévenir les nuisances liées aux eaux pluviales</li> <li>Limiter les impacts sur le bilan hydrologique local, soutien aux débits d'étiage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Limitation des émissions de contaminants, de leur transfert et de leur centralisation en aval ; traitement approprié avant rejet</li> <li>Limitation du ruissellement ; rétention à la source des eaux pluviales</li> <li>Évapotranspiration par les surfaces végétalisées</li> <li>Recharge des nappes par infiltration</li> </ul>
N2 Pluies moyennes	<ul style="list-style-type: none"> <li>Maîtriser le ruissellement et prévenir les nuisances liées aux eaux pluviales</li> <li>Maîtriser l'impact des rejets sur la qualité de l'eau et les milieux récepteurs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Limitation du ruissellement et rétention à la source des eaux pluviales ; gestion via l'infiltration ou restitution à débit maîtrisé</li> <li>Limitation des émissions de contaminants et le cas échéant traitement avant rejet</li> </ul>
N3 Pluies fortes	<ul style="list-style-type: none"> <li>Maîtriser le risque inondation ; prévenir les dommages aux personnes et aux biens</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gestion des écoulements et/ou stockage</li> </ul>
N4 Pluies exceptionnelles (non applicable aux techniques d'infiltration)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gérer le risque inondation ; prévenir les dommages aux personnes et limiter les dommages aux biens</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gestion des écoulements et/ou stockage</li> </ul>

## Annexe 3 – Construction du tableau de synthèse sur le potentiel de contamination de différentes catégories de polluants

Contaminant	Justification	Risque
Cadmium	Très faibles concentrations dans les eaux de pluviées urbaines (Davis et al. 2001; Legret and Pagotto 1999; Pitt et al. 1999; Zgheib 2009), et mobilité importante (dans les sols ou les sédiments des bassins d'infiltration) en comparaison d'autres métaux (Aryal et al. 2007; Clozel et al. 2006; Dierkes and Geiger 1999; Legret et al. 1999; Mason et al. 1999; Murakami et al. 2008; Plassard et al. 2000).	Risque faible
Chrome	Faibles concentrations dans les eaux de ruissellement (Pitt et al. 1999; Zgheib 2009), en grande partie sous forme particulaire, mais avec des observations contradictoires sur sa mobilité invitant à une certaine prudence (Aryal et al. 2007; Cederkvist et al. 2013; Mason et al. 1999; Murakami et al. 2008; Pitt et al. 1999).	Risque faible
Cuivre	Concentrations modérées dans les eaux de ruissellement, avec une fraction dissoute non-négligeable à l'échelle amont (Bressy et al. 2012; Davis et al. 2001; Mikkelsen et al. 1994; Zgheib 2009), et, en dépit d'une forte affinité pour la matière organique qui pourrait dans certain cas faciliter son transfert vers la nappe (Aryal et al. 2007; Kumar et al. 2013; Mason et al. 1999), une mobilité assez réduite dans les sols ou les sédiments de bassin d'infiltration (Clozel et al. 2006; Nieber et al. 2014; Pitt et al. 1999). Les niveaux de rétention mesurés pour les ouvrages de type bio-rétention et les profils de contamination observés sur des dispositifs plus classiques permettent par ailleurs de relativiser le risque que ce métal fait peser sur la ressource souterraine (Davis et al. 2009; LeFevre et al. 2015; Tedoldi 2017).	Risque faible
Nickel	Faibles concentrations dans les eaux de ruissellement (Nieber et al. 2014; Zgheib 2009) et un potentiel de contamination des eaux souterraines limité (Aryal et al. 2007; Bardin et al. 2001; Clozel et al. 2006; Pitt et al. 1999) bien que présent dans des proportions importantes sous forme dissoute.	Risque très faible
Plomb	Concentrations faibles à modérées dans les eaux de ruissellement (Bressy 2012; Davis et al. 2001; Zgheib 2009) avec une large prédominance de la phase particulaire, et mobilité très réduite dans les sols ou les matériaux de l'assainissement pluvial (Aryal et al. 2007; LeFevre et al. 2015; Pitt et al. 1999; Plassard et al. 2000).	Risque faible
Zinc	Concentrations potentiellement élevées dans le ruissellement, et en grande partie sous forme dissoute à l'échelle amont (Bressy 2012; Zgheib 2009), avec une mobilité assez importante en comparaison des autres métaux (Aryal et al. 2007; Clozel et al. 2006; Dechesne et al. 2004; Dierkes and Geiger 1999), même si les expérimentations menées sur des ouvrages de type bio-filtration et les profils de contamination observés sur des ouvrages plus classiques permettent de relativiser le risque que ce métal fait peser sur la ressource souterraine (LeFevre et al. 2015; Tedoldi 2017).	Risque modéré
COV	Des concentrations très variables dans les eaux de ruissellement, avec une mobilité importante en raison de leur solubilité. Ces composés sont cependant sujets à une dégradation rapide dans le sol (Pitt et al. 1999).	Risque Faible
HAP	Concentrations importantes dans le ruissellement (au regard des NQE), mais avec une fraction importante de la pollution sous forme particulaire (Bressy 2012; Zgheib 2009). Les composés les plus « légers », présentant une plus faible affinité pour la phase particulaire, sont par ailleurs susceptibles d'être dégradés ou de se volatiliser plus rapidement. Les niveaux de rétention mesurés pour les ouvrages de type bio-rétention et les profils de contamination observés sur des dispositifs d'infiltration plus classiques tendent à indiquer que le risque d'une migration en profondeur des HAP est le plus souvent limité (LeFevre et al. 2015; Tedoldi 2017).	Risque Faible
Autres hydrocarbures	Les hydrocarbures aliphatiques (huiles, graisses...) sont en principe moins mobiles et moins stables que les HAP (Dierkes and Geiger 1999; Nieber et al. 2014). Les études menées sur des dispositifs de bio-filtration suggèrent que ces derniers peuvent aisément être retenus dans les couches superficielles du sol (LeFevre et al. 2015).	Risque Faible
Biocides	Cette catégorie de polluants peut recouvrir une grande diversité de composés	Risque

	dont la présence dans le ruissellement n'a été étudiée qu'assez récemment (Bressy 2012; Gromaire et al. 2015). Même si peu de travaux se sont intéressés à leur transfert dans les ouvrages d'infiltration, bon nombre de ces composés sont hydrophiles et sont donc susceptibles de migrer en profondeur dans les sols (Bucheli et al. 1998; Pitt et al. 1999).	Modéré
Autres composés émergents (ex : alkylphénols, phtalates chloroalcanes...)	Bon nombre de polluants organiques n'entrant dans aucune des catégories précédentes ont été détectés dans les eaux pluviales urbaines (Bressy 2012). Ces espèces présentent a priori des propriétés physico-chimiques différentes mais ont pour point commun de n'avoir pour l'heure pas été étudiées au niveau de dispositifs d'infiltration. Les connaissances actuelles ne permettent donc pas de déterminer si l'infiltration d'eaux pluviales contenant ces substances représente un risque pour les eaux souterraines.	Risque Indéterminé
Pathogènes	Si les agents pathogènes ne devraient en principe pas être une source de préoccupations dans les eaux pluviales ces derniers peuvent néanmoins y être présents, du fait de mauvais branchements ou par lessivage de déjections animales sur les chaussées. Si la plupart des agents pathogènes sont susceptibles d'être retenus dans les horizons superficiels du sol, ce n'est pas nécessairement le cas des virus dont le devenir dans les ouvrages d'infiltration reste pour l'heure mal connu (Grebel et al. 2013; Kim et al. 2012; Pitt et al. 1999).	Risque modéré
Chlorures	Introduction de quantité importante liée à l'utilisation de sels de déglacage Transfert rapide vers les nappes (Kwiatkowski et al. 2007; Pitt et al. 1999) et risque de remobilisation de polluants piégés dans le sol (Norrström and Jacks 1998; Norrström 2005).	Risque important

## Annexe 4 – Illustration de l’hétérogénéité des préconisations relatives à l’infiltration des eaux pluviales

Points de vigilance	Illustration de l’hétérogénéité des préconisations
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concentration des flux d’infiltration</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exemple 1 : préconisations de l’Agence de l’eau Seine-Normandie : respect d’un ratio minimum entre surface d’infiltration et surface active en amont de l’ouvrage, c’est-à-dire contribuant au ruissellement (AESN 2013)</li> <li>• Exemple 2 : dans la plupart des guides, pas de mention de ce ratio ou de la nécessité de privilégier des solutions diffuses (ex : DDT-03 2014; LM 2012; SIBA 2016)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distance entre la nappe et la surface de l’ouvrage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exemple 1 : préconisations de la Métropole du Grand Lyon : distance minimale à adapter en fonction de la perméabilité du sol et du ratio entre surface d’infiltration et surface d’apport (GLM 2015)</li> <li>• Exemple 2 : préconisations du comité du bassin hydrographique de la Mauldre et de ses affluents : distance minimale de 2 m (COBAHMA 2009)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vitesse d’infiltration et écoulements préférentiels</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exemple 1 : préconisations de l’Agence de l’eau Seine-Normandie : garantir une vitesse d’infiltration inférieure à <math>10^{-4}</math> m/s pour limiter le transfert de polluants vers les nappes (AESN 2013)</li> <li>• Exemple 2 : préconisations du Syndicat pour la Station d’Epuración de Givors : Infiltration si perméabilité comprise entre <math>10^{-5}</math> et <math>10^{-2}</math> m/s (SYSEG 2017)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prise en compte de la nature des surfaces d’apports : cas des toitures</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exemple 1 : préconisations de la Métropole du Grand Lyon (valables pour d’autres types de surfaces d’apport) : degré de prétraitement à ajuster en fonction de la nature des surfaces d’apports (en distinguant différents types de toitures) et de la vulnérabilité de la nappe (caractérisée par la perméabilité du sol) (GLM 2015)</li> <li>• Exemple 2 : doctrine des services police de l’Eau dans le département de l’Allier : infiltration des eaux de toitures sans précautions particulières pour les sols de perméabilité supérieure à <math>10^{-5}</math> m/s à condition de maintenir une distance de 1 m avec la nappe (DDT-03 2014)</li> <li>• Exemple 3 : dans certains guides, la faisabilité de l’infiltration n’est pas explicitement conditionnée par la nature des surfaces considérées (ex : SIBA 2016)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prise en compte de la nature des surfaces d’apports : cas des voiries</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exemple 1 : préconisations sur le périmètre du SAGE de l’Est Lyonnais : prétraitement des eaux de voirie avant leur infiltration (S-EL 2009)</li> <li>• Exemple 2 : doctrine des services police de l’Eau dans le département du Rhône : pour les axes de circulations importants, prétraitement nécessaire pour les sols de perméabilité supérieure à <math>10^{-5}</math> m/s et absence de prétraitement sur les voiries dans les zones d’habitat (MISE-69 2004)</li> </ul>



**Cerema Ile-de-France**

12 rue Teisserenc de Bort - CS 20600 – 78197 Trappes-en-Yvelines Cedex  
Tel : 01 34 82 12 34 – Fax : 01 30 50 83 69 – mel : dteridf.cerema@cerema.fr

[www.cerema.fr](http://www.cerema.fr)