



**HAL**  
open science

# Méthodologie pour évaluer l'infiltration des eaux pluviales en milieu urbain : test à Argenteuil (95)

Nicolas Neveu

► **To cite this version:**

Nicolas Neveu. Méthodologie pour évaluer l'infiltration des eaux pluviales en milieu urbain : test à Argenteuil (95). Génie civil. 2013. dumas-01143073

**HAL Id: dumas-01143073**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01143073>**

Submitted on 16 Apr 2015

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET METIERS**

**PARIS**

**le cnam**

**MEMOIRE**

**présenté en vue d'obtenir le**

**DIPLOME d'INGENIEUR CNAM**

**SPECIALITE : CONSTRUCTION, AMENAGEMENT**

**OPTION : AMENAGEMENT**

**par**

**Nicolas NEVEU**

---

**Méthodologie pour évaluer l'infiltration des eaux pluviales en milieu urbain – test à Argenteuil (95)**

**Soutenu le 19 septembre 2013**

---

**JURY**

**Président : M F. GUILLEMARD, Professeur Titulaire de chaire**

**Membres : M G. BAJEUX, Professeur associé**

**M M. CAZENAVE, Professeur associé**

**M J-S. VILLEFORT, Professeur agrégé**

**M X. CESPEDES, Professeur associé**

**M W. LARBI, Maître de conférences**

**M J. PAIS, Professeur associé**

**M A. CHERIGUI, Directeur adjoint des Infrastructures de l'agglomération d'Argenteuil Bezons**

## Remerciements

*A l'issue de ce travail, je tiens à exprimer ma gratitude aux nombreuses personnes qui ont contribué à son élaboration d'une manière directe ou indirecte. Que ceux que j'aurais pu oublier m'en excusent.*

*Tout d'abord, je voudrais adresser mes chaleureux remerciements à MM. Vincent VERHEYLESSONNE et Aldo RUELLAN (Communauté d'agglomération d'Argenteuil-Bezons) qui m'ont permis la réalisation de ce travail par leurs disponibilités et soutien technique pour mener à bien des investigations.*

*Mes sincères remerciements s'adressent également à M. Olivier FOUCHE (CNAM) qui m'a donné un goût spécial à l'hydrogéologie ; il m'a laissé bien souvent gérer mon travail tout en apportant les critiques et conseils nécessaires lors de son élaboration.*

*Je tiens à remercier :*

*Mme Sabine FOUREL et Mme Valérie LANG (SIARV) pour m'avoir permis de consulter les documents nécessaires, m'avoir guidé, et facilité l'accès à leurs installations et données expérimentales ;*

*MM. Philippe VERJUS (DIREN), Guillaume STORME (SIAAP), Jean-Baptiste GARIDEL (Fondasol) et Julien DESPLAT (Météo France) qui m'ont fournis les documents nécessaires et leurs commentaires précieux ;*

*M. Sid KERMADI (Sade) qui a toujours su apporter un soutien à mon travail par ses conseils et suggestions ;*

*J'exprime ma vive reconnaissance à M. et Mme Claude et Claudine MACAR, Mme Annie HUET, MM. Thomas NEVEU-BRENIERE, Christophe SAILLE et Emmanuel GOURBESVILLE pour leur aide et leur soutien tout au long de la réalisation de ce projet.*

*Mes sincères remerciements à tous ceux qui m'ont autorisé l'accès à leurs puits et sources.*

*Je ne saurais oublier mes collègues qui ont apporté une pierre à l'édifice pour ce travail long et difficile : C. SALOME, D. LAZERGES, N. AIRES, D. JANVRE, S. GOOSSENS, P. RENARD, S. BENKO, V. CHEVROL et J. JEANNEAU.*

*Je n'oublie pas mes proches, particulièrement Lilian, Emeline, Lucy et Fanny qui ont toujours été présents à mes côtés. Ce travail leur appartient aussi.*

## Liste des acronymes

### Glossaire des termes techniques

AESN	: Agence de l'Eau Seine Normandie
BAC	: Bassin d'alimentation de Captage
BPU	: Bordereau des Prix Unitaires
BTP	: Bâtiment Travaux Public
CAAB	: Communauté d'Agglomération Argenteuil Bezons
CCI	: Chambre de Commerce et de l'Industrie
CETE	: Centre d'Études Techniques de l'Équipement
CSR	: Chaussée à Structure Réservoir
CCTP	: Cahier des Clauses Techniques Particulières
DBO5	: Demande Biologique en Oxygène sous 5 jours
DCO	: Demande Chimique en Oxygène
DEA 93	: Direction de l'Eau et de l'Assainissement du Conseil Général de Seine Saint-Denis
DERU	: Directive Eaux Résiduaires Urbaines
ECPP	: Eaux claires parasites permanentes
EP	: Eaux pluviales
ETM	: Eléments Traces Métalliques
EU	: Eaux usées
IDF	: Intensité durée fréquence
GIEC	: Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
HAP	: Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
HQE	: Haute Qualité environnementale
INSA Lyon	: Institut National des Sciences Appliquées de Lyon
LEMA	: Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques
MES	: Matières En Suspension
MO	: Matière Organique
NTK	: Azote Total Kjeldahl
OTHU	: Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine
RATP	: Régie Autonome de Transport Parisien
RUTP	: Rejets Urbains de Temps de Pluie
SAUL	: Structures Alvéolaires Ultra Légères
SDA	: Schéma Directeur d'Assainissement
SIARV	: Syndicat Intercommunal pour l'Assainissement de la Région Villeneuve-Saint-Georges
SIAVND	: Syndicat Intercommunal pour l'Assainissement du Val Notre Dame (Argenteuil / Bezons)
SIG	: Système d'information géographique
STEP	: Station d'épuration
TA	: Techniques Alternatives
ZAC	: Zone d'Aménagement Concerté

# SOMMAIRE

I. Présentation du contexte et travaux antérieurs .....	10
1 Réglementation.....	11
1.1 Droit de propriété des eaux pluviales et obligations .....	11
1.2 Servitude d'écoulement.....	11
1.3 Servitude d'égout de toits.....	11
1.4 Loi sur l'eau .....	11
1.4.1 Gestion des eaux pluviales par les collectivités territoriales .....	11
1.4.2 Autorisation et déclaration de rejets d'eaux pluviales.....	12
1.5 Documents de planification réglementaire .....	12
1.6 SDAGE (Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux) .....	12
1.7 SAGE (Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux) .....	13
1.8 Documents d'urbanisme .....	13
1.8.1 SCOT (Schéma de Cohérence Territoriale).....	13
1.8.2 PLU (Plan Local d'Urbanisme) .....	13
1.8.3 Le règlement de ZAC (Zones d'Aménagement Concerté).....	14
1.9 Règlement d'assainissement .....	14
1.10 Plans de Prévention des Risques.....	14
1.11 PPRI (Plan de Prévention du Risque Inondation).....	14
1.12 PPRMT (Plan de Prévention des Risques de Mouvement de Terrain) .....	14
1.13 Cas des installations classées.....	15
1.14 Zonage pluvial .....	15
1.15 Procédure de Déclaration d'Intérêt Général ou d'Urgence .....	15
1.16 Taxe sur les eaux pluviales .....	16
1.17 Utilisation des eaux pluviales .....	16
2 Techniques d'infiltration .....	16
2.1 Étude du contexte urbain .....	17
2.2 Faisabilité des techniques d'infiltration .....	17
2.2.1 Sols adaptés à l'infiltration .....	18
2.2.2 Méthodes de mesure de la perméabilité du sol et du sous-sol .....	23
2.3 Méthodes de mesure de l'hétérogénéité du sol et du sous-sol .....	26
2.4 Méthode de mesure du niveau de la nappe .....	27
2.5 Techniques d'infiltration existantes .....	27
2.5.1 Principe général des techniques d'infiltration .....	27
2.5.2 Avantages et inconvénients de chaque technique d'infiltration .....	29
2.5.3 Aide au choix, à la conception et à la gestion des politiques d'infiltration.....	31
2.6 Limiter la pollution des sols et des nappes par les eaux pluviales et de ruissellement.....	31
2.6.1 Origines des polluants dans les ouvrages d'infiltration.....	31
2.6.2 Nécessité d'une décantation en amont des ouvrages d'infiltration.....	32
2.7 Limiter le colmatage des ouvrages d'infiltration .....	33
3 Intérêt de la modélisation pour la gestion des eaux pluviales .....	35
3.1 Étapes d'un diagnostic pluvial .....	35
3.2 Intérêt de la modélisation hydrogéologique des bassins versants.....	36
3.3 Intérêt de la modélisation hydraulique .....	36
3.3.1 Modélisation du ruissellement.....	36
3.3.2 Diagnostic de fonctionnement.....	37
3.3.3 Zonage pluvial .....	38
4 Les limites de l'infiltration.....	39
5 Conclusion de l'étude bibliographique .....	40
II. Expérimentation sur le terrain d'Argenteuil - Contexte local .....	42
1. Contexte .....	42
2. Hydrographie.....	44
3. Contexte des Plans de prévention des risques .....	48
4. Réseaux collectifs d'assainissement .....	52
5. Délimitation des sous-bassins versants .....	54

6. Géologie et hydrogéologie .....	55
III. Matériels et méthodes.....	60
1 Conduite du projet .....	60
1.1 Lancement du projet.....	60
1.2 Organisation et partenaires .....	61
1.3 Objectifs .....	61
2 Etats des lieux et connaissances des sites expérimentaux .....	62
2.1 Contexte géologique .....	63
2.2 Contexte hydrogéologique régional.....	65
2.3 Définition des bassins versants .....	66
2.4 Etude de cas de la rue Laget à Argenteuil.....	66
2.5 Sites pour la mise en œuvre de piézomètres.....	68
2.6 Zones d'infiltration.....	69
3 Moyens et matériel .....	70
3.1 Sites pour la mise en œuvre de piézomètres.....	70
3.1.1 Principe de la méthode.....	70
3.1.2 Mode opératoire .....	70
3.1.3 Limites de mesures.....	71
3.2 Zones d'infiltration.....	72
3.2.1 Principe de la méthode.....	72
3.2.2 Mode opératoire .....	72
3.2.3 Etudes préliminaires pour caractériser le site .....	73
3.2.4 Limites de mesures.....	74
4 Résultats et interprétations .....	75
4.1 Pluviométrie .....	75
4.2 Niveau de la Seine.....	75
4.3 Sites pour la mise en œuvre de piézomètres.....	76
4.3.1 Mesures du niveau des piézomètres.....	77
4.3.2 Les éléments d'interprétation.....	84
4.4 Zones d'infiltration / Tests de percolation .....	85
4.4.1 Résultats des investigations de terrain .....	85
4.4.2 Les éléments d'interprétation.....	87
5 Interprétations.....	88
IV. Discussion .....	97
1 Concepts, enjeux et cadre d'application .....	97
1.1 Les interprétations des investigations.....	97
1.1.1 Constatation observées par la première expérience .....	97
1.1.2 Constatation observées par la deuxième expérience .....	97
1.1.3 Constatations observées par les deux expériences .....	98
1.1.4 Bilan .....	98
1.2 Bilan hydrique.....	100
2 Méthodes outils et exemples.....	102
2.1 Orientations pour des études complémentaires .....	102
2.1.1 Etudes complémentaires .....	103
2.1.2 Ebauche de protocole pour des investigations de terrain recommandant l'infiltration ou pas à l'échelle de la parcelle .....	104
2.2 Mesures sur Argenteuil.....	104
2.2.1 Actions à court terme.....	105
2.2.2 Actions à long terme.....	107
Conclusion.....	109

# ANNEXES

- Annexe 1 - Techniques alternatives.....	132
- Annexe 2 - Pose de piézomètre .....	151
- Annexe 3 - Plan de Prévention de Mouvement de Terrain.....	153
- Annexe 4 - Légendes des coupes géologiques de la zone d'étude.....	157
- Annexe 5 - Paramètres analysés lors des investigations.....	159
- Annexe 6 - Localisation des piézomètres.....	161
- Annexe 7 - Coupes verticales géologiques.....	177
- Annexe 8 - Carottages et coupes des zones d'infiltration.....	185
- Annexe 9 - Interprétation de l'évolution des piézomètres.....	192
- Annexe 10 - Analyse de la réactivité des PZ en fonction de la pluie ....	202
- Annexe 11 - Essais Lefranc .....	206
- Annexe 12 - Infiltration en milieu urbain : Aménagements, entretien .	214
- Annexe 13 - Dépenses liées à cette étude.....	221
- Annexe 14 - Mesures complémentaires.....	223
- Annexe 15 - Diagramme de perméabilité .....	231
- Annexe 16 - Proposition de techniques alternatives en fonction des contraintes.....	233

## **RESUME**

Avec le développement de l'urbanisation, les eaux pluviales ont de plus en plus de difficultés à s'infiltrer dans les sols. L'infiltration des eaux pluviales (EP) s'inscrit dans le cycle naturel de l'eau.

Cette recherche s'attache à décrire les différentes techniques d'infiltration des eaux pluviales dans le sol et à déterminer les interactions et limites de celles-ci pour la gestion de l'eau. Plus précisément, l'étude du cycle court des eaux pluviales dans les interactions de sub-surface (infiltration/ruissellement).

Face à ce constat, l'étude recherche l'optimisation de la gestion des eaux pluviales en milieu urbain pour intégrer ce paramètre dans les projets d'urbanisme. Une meilleure connaissance des mécanismes de rétention, de transfert et d'infiltration en milieu urbain permettra d'évaluer les effets des constructions existantes et d'orienter les décisions futures d'aménagement vers la non détérioration du patrimoine anthropique et naturel.

L'étude tente de cerner les différents cheminements de l'eau selon l'intensité et la durée de la pluie : stagnation des eaux, axes de drainage par infiltration ou ruissellement. L'infiltration peut se décomposer en 3 phénomènes : évolution du gradient d'humidité du sol, l'écoulement horizontal de sub-surface (avec des axes de drainage) et la percolation verticale (en profondeur) vers la nappe.

A Argenteuil, l'infiltration horizontale a été identifiée comme le principal mécanisme (axe de drainage).

Les sites expérimentaux sont des sites représentatifs en ville avec des sols hétérogènes caractéristiques de zone urbaine.

En fait, cette étude met en évidence les difficultés de l'évaluation de l'infiltration en milieu urbain. Ceci peut s'expliquer par la complexité des mécanismes en jeu. La seule corrélation observée concerne les interactions entre le niveau de la Seine et les nappes des surfaces environnantes (sur une frange de 200 mètres pour ces investigations).

Une première approche a permis de définir les zones propices à l'infiltration en tenant compte des chemins préférentiels supposés et des contraintes de sol. Cette suggestion nécessite d'être vérifiée et corrélée par des analyses complémentaires. Ces données permettront d'appréhender et comprendre les mécanismes en jeu pour prévoir et adapter les dispositions constructives si nécessaire.

Mots clés : eaux pluviales, infiltration, piézomètres, sol, nappe, ruissellement, hydrogéologie, urbanisation.

### SUMMARY

With the booming of urbanization, rain water has more and more difficulties to infiltrate the ground. Infiltration of rain water is part of the natural water cycle.

This research describes the infiltration techniques of rain waters in soil and determines the interactions and limits of these for water management.

More precisely, the study will deal about the short cycle of rain water in the sub-surface interactions (infiltration/running water).

In front of this, the study is looking for the optimization of rain water management in urban area to integrate this topic in the town planning projects. A better knowledge of retention, transference and infiltration mechanisms in cities will allow to assess the existing constructions effects and to adjust the future design toward a preservation of the anthropoid and natural patrimony. The study tries to describe the water trails in function of intensity and duration of rain: stagnation of water, drainage axis by infiltration of water (vertical or horizontal), surface run off.

Infiltration can be summarized as 3 phenomena: evolution of soil humidity, vertical infiltration (in depth) toward ground water and horizontal infiltration (with drainage axis).

In Argenteuil, horizontal infiltration has been identified as predominant. The experimental sites are representative of town ones with altered soils. Every soil is specific and results are only valid for urban area heterogeneous soils.

In fact, the study enlightens the difficulties of assessing the infiltration of rain water in urban area. This could be explained by the complexity of participating mechanisms. The only observed correlation has been demonstrated between the Seine water level and the ground water levels in a fringe of 200 meters (in this investigation).

A first infiltration approximation has allowed us to define the area keen to infiltration (taking care of the presumed favorite paths and soils constraints). This suggestion needs to be verified and linked by further studies. These studies will allow understanding the mechanisms in place to predict and adapt additional constructions if necessary.

Key words: rain water, infiltration, soil, piezometer, ground water, run off, hydrogeology, urbanization.

# Introduction

Le développement de l'urbanisation impacte lourdement le cycle naturel de l'eau. L'urbanisation massive, débutée pendant la deuxième moitié du XXe siècle augmente la surface imperméabilisée, ce qui accroît le ruissellement urbain. Le développement progressif des villes par extension concentrique (aménagement de la périphérie des villes) et la structure ramifiée des réseaux d'assainissement liée à l'écoulement gravitaire de l'eau renforcent la concentration des flux d'eaux pluviales vers les réseaux existants. Cette concentration se produit notamment dans les parties historiques des villes, où sont rassemblées les activités sociales et économiques importantes.

A ce jour, seul l'impact hydraulique des eaux pluviales a été pris en compte. Il était question de préserver la sécurité des personnes et des biens. Progressivement, leur caractère polluant et nuisible sur le milieu naturel a été mis en évidence.

La prise de conscience générale récente des enjeux écologiques et des impacts de l'activité humaine sur la préservation de l'environnement conduit les pouvoirs publics à repenser leur politique, en intégrant l'impact environnemental du cycle naturel de l'eau dans leur politique urbaine.

L'infiltration n'est pas simplement un écoulement vertical dans un sol non saturé en eau. Des systèmes drainants involontaires existent souvent. Des progrès dans la connaissance du devenir des eaux d'infiltration urbaines sont souhaitables. Elles influent sur le comportement mécanique des sols de fondation des bâtiments et ouvrages divers et sur la recharge des nappes. Elles peuvent perturber le fonctionnement d'ouvrages comme les réseaux d'eaux usées. Une gestion des eaux pluviales en amont est une approche de l'assainissement pluvial urbain nécessitant une réflexion préalable sur l'infiltration et sur sa maîtrise.

L'infiltration en secteur urbain a-t-elle une influence sur le niveau des nappes ? Dans quelle mesure ? Sous quelles conditions ?

Cette étude s'attache à comprendre les différentes techniques d'infiltration des eaux pluviales dans le sol et à déterminer les atouts et limites de celles-ci sur leur gestion d'écoulement.

Cette étude présente trois objectifs : proposer un bilan hydrique, étudier le cheminement des eaux pluviales et proposer une carte vulgarisée de l'infiltration des EP sur la commune d'Argenteuil.

Il semble que l'échelle du bassin versant, territoire géographique, soit l'échelle pertinente d'étude et d'action. Ces flux sont à comparer selon différentes échelles spatio-temporelles et autres composantes du "bilan d'eau" : précipitations, ruissellement, écoulement de nappe.

Tout d'abord, il sera évoqué les concepts, enjeux et l'état de l'art de l'infiltration des eaux pluviales en milieu urbain, selon la dimension technique.

## **I. Présentation du contexte et travaux antérieurs**

L'imperméabilisation grandissante des sols en milieu urbain, en diminuant leur capacité d'infiltration, implique des volumes ruisselés de plus en plus importants et une accélération des écoulements. Cela peut provoquer des débordements des réseaux d'EP ou unitaires lors des événements pluvieux intenses. Le contexte nécessite également de créer des déversoirs d'orages qui, pour protéger la ville des inondations lors de fortes pluies, rejettent dans le milieu naturel un mélange d'eaux usées non traitées et d'eaux pluviales. Enfin, les forts volumes d'EP et de ruissellement collectés par les stations d'épuration peuvent provoquer leur dégradation ainsi que la non-conformité des effluents en termes de seuils de charge.

Les techniques dites « alternatives » au débat traditionnel réseau séparatif/réseau unitaire, visent à maîtriser le ruissellement des eaux pluviales :

- soit en les stockant temporairement puis en les restituant progressivement au réseau ;
- soit en les infiltrant dans le sol.

Les principales techniques de stockage existantes sont :

- le stockage dit « classique » : bassins de rétention, conduites surdimensionnées, fossés, noues, citernes ;
- le stockage dans les matériaux constitutifs : chaussées à structures réservoirs, tranchées, structures réservoirs poreuses ;
- le stockage sur immeuble : toiture stockante, toiture végétalisée.

L'étude traitera plus particulièrement ici des techniques d'infiltration en milieu urbain.

La partie 1 présentera l'ensemble des textes réglementaires relatifs à la gestion des eaux pluviales. La partie 2 décrira ensuite le principe d'infiltration des EP dans le sol et le sous-sol. Chacune des techniques alternatives existantes fera l'objet d'une fiche en annexe 1. La partie 3 expliquera l'intérêt de la modélisation dans la gestion des eaux pluviales en milieu urbain. Enfin, la partie 4 présentera les limites de l'infiltration.

# 1 Réglementation

## 1.1 Droit de propriété des eaux pluviales et obligations

D'après l'article 641 du Code Civil, « *tout propriétaire a le droit d'user et de disposer des eaux pluviales qui tombent sur ces fonds* », qu'il soit public ou privé. Tout propriétaire peut donc recueillir les eaux pluviales et les réutiliser.

Tout propriétaire est également en droit de laisser les eaux pluviales s'écouler sur son terrain, en respectant certaines obligations :

## 1.2 Servitude d'écoulement

Les articles 640 (alinéa 3) et 641 (alinéa 2) du Code Civil précisent qu'un propriétaire peut laisser s'écouler ses eaux pluviales sur le fonds inférieur (c'est-à-dire en contrebas), à condition de ne pas aggraver leur écoulement naturel. La jurisprudence considère que l'écoulement naturel des EP est aggravé lorsque leur sens d'écoulement est modifié ou que le ruissellement est renforcé par la modification de la direction d'autres flux.

Les eaux de ruissellement provenant du fond supérieur constituent une servitude pour le propriétaire du fond inférieur qui n'est pas en droit de refuser de les recevoir.

## 1.3 Servitude d'égout de toits

L'article 681 du Code Civil oblige le propriétaire à établir ses toits de façon à ce que les eaux pluviales ne s'écoulent pas directement sur le fonds de son voisin mais sur la voie publique. Ce rejet peut être contrôlé par le gestionnaire de la voirie, d'après les articles R34 et R38 du Code Pénal et le décret du 27 décembre 1958.

L'article L. 2212-2 du Code Général des Collectivités Générales offre à la commune la possibilité de réglementer les rejets de particuliers sur la voie publique dans le cadre de ses pouvoirs de police en matière de lutte contre les accidents, les inondations et la pollution.

S'il existe un réseau pluvial, un arrêté municipal peut interdire ou limiter les rejets sur la voie publique.

## 1.4 Loi sur l'eau

### 1.4.1 Gestion des eaux pluviales par les collectivités territoriales

La mise en place de techniques alternatives pour la gestion des eaux pluviales est indirectement encouragée par l'article 31 de la Loi sur l'Eau de 1992, codifié à l'article L211-7 du Code de l'Environnement. Ce dernier habilite les collectivités territoriales à entreprendre l'étude, l'exécution et l'exploitation de tous travaux, ouvrages ou installations présentant un caractère d'intérêt général ou d'urgence. Ils visent entre autres :

- la maîtrise des eaux pluviales et de ruissellement ;
- la défense contre les inondations et contre la mer ;
- la lutte contre la pollution ;
- la protection et la conservation des eaux superficielles et souterraines ;
- la protection et la restauration des sites, des écosystèmes aquatiques et des zones humides ainsi que des formations boisées riveraines.

### **1.4.2 Autorisation et déclaration de rejets d'eaux pluviales**

L'article 10 de la Loi sur l'Eau, codifié aux articles L 214-1, L 214-2, L 214-3, L 214-4, L 214-5 et L 214-6 du Code de l'Environnement, stipule que « *toutes activités et installations susceptibles de nuire gravement à l'eau, à ses usages et aux écosystèmes aquatiques doivent faire l'objet d'une déclaration ou autorisation suivant les superficies mises en jeu. Ce décret s'applique notamment pour les lotissements de surface > 1 ha* ».

La rubrique 2.1.5.0 de la nomenclature IOTA des installations, ouvrages, travaux ou activités soumis à autorisation ou à déclaration, définie dans l'article R214-1 du Code de l'Environnement, concerne «*le rejet d'eaux pluviales dans les eaux douces superficielles soit sur le sol soit dans le sous-sol*».

Elle fixe deux seuils en fonction de la surface totale du projet augmentée de la surface du bassin versant dont les eaux pluviales ruisselées sont interceptées :

- surface totale supérieure ou égale à 20 ha : autorisation,
- surface totale supérieure à 1 ha mais inférieure à 20 ha : déclaration.

Les installations, ouvrages, travaux et activités soumis à déclaration relèvent du régime d'autorisation, à l'intérieur du périmètre de protection rapprochée des points de prélèvements d'eau destinée à l'alimentation des collectivités humaines, mentionné à l'article L. 1321-2 du Code de la Santé Publique, et du périmètre de protection des sources d'eaux minérales déclarées d'intérêt public, mentionné à l'article L. 1322-3 du même code, ainsi que des zones mentionnées à l'article L. 432-3 du Code de l'Environnement (art. 2 du décret 93-743 du 29 mars 1993 modifié).

### **1.5 Documents de planification règlementaire**

La Directive Cadre Européenne sur l'Eau présente comme objectif principal le bon état général des eaux souterraines et superficielles d'ici 2015. Ces objectifs sont retranscrits dans la réglementation nationale, et les mesures à prendre sont intégrées dans les SDAGE.

Le SDAGE et le SAGE ont été instaurés par la Loi sur l'Eau n° 92-3 du 3 janvier 1992, intégrée aujourd'hui dans le Code de l'Environnement et dans le Code Général des Collectivités Territoriales.

### **1.6 SDAGE (Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux)**

Le SDAGE, élaboré pour chacun des sept grands bassins hydrographiques français, fixe pour six ans les grandes orientations d'une gestion équilibrée de la ressource en eau. Les documents d'urbanismes (SCOT, PLU et cartes communales) doivent être compatibles avec le SDAGE.

La prise en compte de la gestion des eaux pluviales varie selon le SDAGE. Elle apparaît de manière générale dans les thèmes «pollution», «inondation» et «préservation de la ressource».

Le projet de SDAGE Seine-Normandie indique que : «*En priorité dans les secteurs sensibles au ruissellement urbain, les collectivités veilleront dans un premier temps à ne pas aggraver la situation, et à établir les programmes de corrections nécessaires. Les zones d'aménagement nouveau devront restituer un débit de ruissellement égal au débit généré par le terrain naturel, notamment par l'emploi*

*de techniques dites alternatives au ruissellement pluvial. Sur les zones anciennement aménagées seront définis les moyens à mettre en œuvre pour améliorer la situation.»*

## **1.7 SAGE (Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux)**

Le SAGE est réalisé à l'échelle d'un sous-bassin versant. Son objectif principal est la recherche d'un équilibre durable entre protection des milieux aquatiques et satisfaction des usages.

Le SAGE peut définir les zones vulnérables en matière d'eaux pluviales. Il peut notamment fixer comme objectif de limiter le ruissellement.

Le SAGE comporte le PAGD (Plan d'Aménagement et de Gestion Durable) de la ressource en eau, qui fixe les grandes lignes de l'aménagement dans le domaine de l'eau. Ses règles s'appliquent aux activités définies dans la nomenclature IOTA et doivent être respectées dans les dossiers d'autorisation ou de déclaration présentés précédemment.

## **1.8 Documents d'urbanisme**

### **1.8.1 SCOT (Schéma de Cohérence Territoriale)**

Le SCOT définit des orientations pour préserver la qualité de l'eau, limiter les impacts sur le milieu naturel et prévenir les inondations.

Il a été instauré par l'article 3 de la loi SRU n°2000-1208 (Solidarité et Renouvellement Urbains). Il est soumis à enquête publique (article L122-10 du Code de l'Urbanisme). Il prend en compte le SDAGE et le SAGE.

Le SCOT peut limiter les possibilités d'imperméabilisation des sols et identifier les zones sensibles au ruissellement.

### **1.8.2 PLU (Plan Local d'Urbanisme)**

Le PLU retranscrit dans la commune le SCOT. Il décrit les projets d'aménagement de la commune et fixe les règles et les servitudes d'utilisation des sols. Il autorise ou interdit donc la construction.

Il a été instauré par l'article 4 de la loi SRU n°2000-1208 (Solidarité et Renouvellement Urbains). Il est soumis à enquête publique (article L122-10 du Code de l'Urbanisme) et doit être compatible avec le SCOT.

Il comporte un PADD (Projet d'Aménagement et de Développement Durable), qui peut fixer des orientations sur la maîtrise des eaux pluviales. Si un zonage pluvial existe, il est intégré dans le PLU.

Le PLU comporte également un règlement. Il comporte les éléments suivants en matière de gestion du ruissellement et des inondations :

- un débit de pointe maximum ;
- la limitation de l'emprise au sol de bâtiments ;
- l'exigence de mesures compensatoires...

Dans les communes qui ne sont pas dotées d'un PLU, le RNU (Règlement National d'Urbanisme) s'applique.

### **1.8.3 Le règlement de ZAC (Zones d'Aménagement Concerté)**

Les ZAC (Zones d'Aménagement Concerté) sont les zones dans lesquelles une collectivité publique décide de réaliser l'aménagement et l'équipement des terrains. Elles peuvent disposer d'un règlement spécifique.

Le cahier des charges de la ZAC peut imposer des obligations en matière d'entretien des ouvrages de gestion des eaux pluviales.

### **1.9 Règlement d'assainissement**

Conformément à l'article L2224-2 du Code Général des Collectivités Territoriales, les règlements d'assainissement devant être établis par les communes et les groupements de collectivités territoriales, doivent définir les conditions et modalités de déversement des eaux usées et pluviales dans le réseau collectif (de la collectivité). Une collecte des eaux pluviales issues des propriétés privées peut être proposée et règlementée, mais elle n'est pas obligatoire.

### **1.10 Plans de Prévention des Risques**

Selon l'article L. 562-1 du Code de l'Environnement, «*l'État élabore et met en application des Plans de Prévention des Risques naturels prévisibles (PPR)* » engendrés pas des phénomènes tels que les affaissements de terrain dus à une cavité souterraine ou des glissements de terrain. Les PPR doivent être respectés par les documents d'urbanisme et les autorisations d'occupation des sols.

### **1.11 PPRI (Plan de Prévention du Risque Inondation)**

Le PPRI a été institué par la loi n° 95-01 du 2 février 1995 dite loi « Barnier » et peut être prescrit à l'initiative du préfet. Il est codifié aux articles L.562-1 à L.562-9 du Code de l'Environnement.

Le PPRI vise à prévenir les inondations dues à des débordements, des remontées de nappe ou du ruissellement. En fixant des règles relatives à l'occupation des sols et à la construction des bâtiments, il impose des mesures de maîtrise du ruissellement.

La Loi sur l'Eau et Milieux Aquatiques (LEMA) du 30 décembre 2006 rend éligibles au financement par le fond de prévention des risques naturels majeurs (fond "Barnier"), les études et travaux concernant les aménagements pour la prévention du risque d'inondation sous maîtrise d'ouvrage de la collectivité dans les communes couvertes par un PPR prescrit ou approuvé.

### **1.12 PPRMT (Plan de Prévention des Risques de Mouvement de Terrain)**

Ce PPR concerne les phénomènes suivants :

- les affaissements ou effondrements de carrières souterraines et la dissolution du gypse ;
- les tassements de remblais ;
- les glissements de terrain ;
- le retrait-gonflement des sols argileux.

Le PPRMT vaut servitude d'utilité publique.

### **1.13 Cas des installations classées**

Toute installation pouvant présenter des dangers pour la santé ou l'environnement est répertoriée comme installation classée.

La législation des installations classées est inscrite dans le Titre Ier du Livre V du Code de l'Environnement.

Certaines installations classées doivent se conformer à l'arrêté du 02 février 1998, qui prévoit la mise en place d'un réseau de collecte des eaux pluviales vers un bassin de confinement, lorsque leur ruissellement sur des toitures, aires de stockages et autres surfaces imperméables risque d'entraîner une pollution importante du milieu récepteur.

### **1.14 Zonage pluvial**

L'article 35 de la Loi sur l'Eau, remplacé aujourd'hui par les articles L. 2224-8, L. 2224-10, L. 2224-11 et L. 2224-12 du Code Général des Collectivités Territoriales exige des communes ou de leurs établissements publics de coopération d'établir un zonage d'assainissement pluvial.

En application de l'article L. 2224-10 du Code Général des Collectivités Territoriales, « *les communes ou leurs établissements publics de coopération délimitent, après enquête publique :*

- *Les 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 ;*
- *Les zones 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 gravement à l'efficacité des dispositifs d'assainissement. »*

Ces délimitations peuvent se faire dans le cadre des plans locaux d'urbanisme (Article L 123-1 – 11 du Code de l'Urbanisme), ce qui donne plus de poids au zonage pluvial, dans la mesure où il sera alors consulté pour tout projet d'aménagement ou de construction.

Le zonage pluvial peut définir trois types de zone :

- Les zones de production et d'aggravation de l'aléa ;
- Les zones d'écoulement ;
- Les zones d'accumulation.

Il peut prescrire une limitation du rejet à la parcelle ou une technique de gestion des eaux pluviales, comme l'infiltration, le réseau séparatif ou unitaire, ....

### **1.15 Procédure de Déclaration d'Intérêt Général ou d'Urgence**

Cette procédure habilite les collectivités territoriales, leurs groupements, les syndicats mixtes et les communautés locales de l'eau à entreprendre l'étude, l'exécution et l'exploitation de certains travaux présentant un caractère d'intérêt général ou d'urgence. Elle les autorise également à faire participer financièrement les personnes ayant rendu ces travaux nécessaires ou y trouvant un intérêt dans les conditions fixées par les articles L. 151-36 à L. 151-37 du Code Rural.

## 1.16 Taxe sur les eaux pluviales

Le décret n° 2011-815 du 6 juillet 2011 relatif à la taxe pour la gestion des eaux pluviales urbaines crée « *le service public des eaux pluviales urbaines et l'instauration d'une taxe facultative pour contribuer à son financement par les communes ou leurs groupements.* »

Le décret :

- définit le système de gestion des eaux pluviales en énumérant les ouvrages ou espaces conçus à cet effet par la commune ou le groupement ;
- fixe les obligations de l'entité compétente pour instituer la taxe ;
- précise l'assiette de la taxe ;
- encadre les modalités de calcul des abattements ;
- définit les modalités pratiques de la taxe avec la mise en place par l'entité compétente d'une déclaration pré-remplie à l'attention des propriétaires assujettis à la taxe ;
- précise les modalités de contrôle qui reviennent à l'entité compétente pour instituer la taxe.

Le tarif de la taxe est limité à 1 € par mètre carré de la superficie cadastrale imperméabilisée.

## 1.17 Utilisation des eaux pluviales

L'arrêté du 21 août 2008 relatif à la récupération des eaux de pluie et à leur usage à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments établit la liste des usages de l'eau de pluie autorisés :

- Les usages extérieurs (arrosage, lavage des véhicules, etc.) ;
- L'alimentation des chasses d'eau et le lavage des sols ;
- A titre expérimental, le lavage du linge, sous réserve d'un traitement adapté de l'eau de pluie, assurant notamment une désinfection. Les fabricants des dispositifs de traitement doivent les déclarer auprès du ministère en charge de la santé, qui transmettra ces éléments aux agences d'expertise (AFSSA/AFSSET), pour analyse des risques sanitaires. La réglementation pourra alors être adaptée en fonction de ces conclusions ;
- Les usages professionnels et industriels, à l'exception de ceux requérant l'usage d'une eau potable.

L'arrêté du 21 août 2008 s'applique à l'ensemble des bâtiments, qu'ils soient raccordés ou non à un réseau public de distribution d'eau potable. L'utilisation d'eau de pluie est interdite à l'intérieur :

- des établissements de santé et des établissements, sociaux et médicaux-sociaux, d'hébergement de personnes âgées ;
- des cabinets médicaux, des cabinets dentaires, des laboratoires d'analyses de biologie médicale et des établissements de transfusion sanguine ;
- des crèches, des écoles maternelles et élémentaires.

## 2 Techniques d'infiltration

L'infiltration dans le sol et le sous-sol est l'une des techniques alternatives de gestion des eaux pluviales. En stockant temporairement les eaux pour réguler les débits et diminuer les vitesses d'écoulement, et en réduisant les volumes d'EP apportés aux réseaux, elle diminue le risque d'inondation. Elle permet également

d'alimenter la nappe phréatique et de dégrader les polluants par la capacité épuratoire du sol. (cf. annexe 1)

## 2.1 Étude du contexte urbain

Il est capital que les stratégies de gestion des eaux pluviales et de ruissellement soient mises en place à l'échelle du bassin versant, et non uniquement de la parcelle. Le diagnostic de site permet de déterminer les potentialités et les contraintes de la zone d'étude pour le projet d'aménagement.

Le CERTU<sup>1</sup> présente l'ensemble des composantes à prendre en compte pour un projet d'assainissement pluvial. Celles-ci sont résumées dans le tableau 1 ci-dessous :

Milieu physique	Activité humaine	Paysage et urbanisme	Contraintes du projet	Contraintes réglementaires
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Topographie</li> <li>- Hydrologie</li> <li>- Climatologie</li> <li>- Inondabilité</li> <li>- Risque hydrologique</li> <li>- Géologie</li> <li>- Géotechnique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mode d'occupation des sols</li> <li>- Travaux d'urbanisme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Paysage</li> <li>- Histoire de l'habitat, compositions et formes urbaines</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Type d'aménagement</li> <li>- Taille des lots</li> <li>- Coûts du projet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Documents de planification</li> <li>- Servites d'utilité publique</li> </ul>

**Tableau 1 : Éléments à prendre en compte dans un projet d'assainissement pluvial**

Les questions à se poser pour un projet de maîtrise des eaux pluviales sont donc les suivantes :

1. Quel est le contexte hydrogéologique (niveau le plus haut de la nappe phréatique, composition des sols (présence de gypse, d'argile), mouvements de terrain, perméabilité des sols) ?
2. Quelles sont les caractéristiques du bassin versant (superficie, axes de drainage, exutoires, mode d'occupation des sols, emprise de la végétation, pente du terrain, dépressions du sol stockant les eaux pluviales) ?
3. Quel est le mode de gestion des eaux pluviales (réseau unitaire ou séparatif, ouvrages de rétention existants) ?
4. Quelles sont les contraintes réglementaires (débit de fuite maximal autorisé à l'exutoire ou débit de fuite imposé) ?
5. Quel sont les risques de pollution du sol ou de la nappe liés à la présence d'activités polluantes sur le bassin versant ?
6. Quels sont le foncier disponible et l'encombrement du sous-sol ?

Les éléments à prendre en compte pour estimer la faisabilité des techniques d'infiltration sont détaillés ci-dessous.

## 2.2 Faisabilité des techniques d'infiltration

«La perméabilité du sol est son aptitude à se laisser traverser par l'eau sous l'effet d'un gradient hydraulique» (G.Castagny). La capacité du terrain à infiltrer les eaux pluviales ainsi que l'espace nécessaire dépendent de cette perméabilité et de la profondeur des couches perméables. Les mesures de la perméabilité du sol et du sous-sol permettent donc d'évaluer la capacité de ceux-ci à infiltrer les eaux pluviales.

<sup>1</sup> CERTU, 2001. « Mémento pour la gestion des projets d'assainissement ».

## 2.2.1 Sols adaptés à l'infiltration

### 2.2.1.1 Influence de la perméabilité du sol sur l'infiltration

En zone urbaine, où les débits de ruissellement d'eaux pluviales peuvent être très importants, il est préconisé d'utiliser un terrain de conductivité hydraulique supérieure à  $10^{-5}$  m/s.

Le tableau 2 ci-dessous présente l'aptitude des sols à l'infiltration en fonction de leur perméabilité mesurée avec le test Porchet :

Classes de perméabilité en fonction de la valeur de K		<u>Aptitude du sol à l'infiltration</u>
mm/h	m/s	
Sols imperméables		défavorable
0.36	1.00E-07	
Sols peu perméables		moyennement favorable
3.6	1.00E-06	
Sols moyennement perméables		favorable
36	1.00E-05	
Sols perméables		
360	1.00E-04	
Sols très perméables		

**Tableau 2 : Classes de perméabilité et aptitude de sols à l'infiltration**

Utiliser un terrain présentant une conductivité hydraulique très grande (supérieure à  $10^{-2}$  m/s) présente a contrario des risques importants de transfert de pollution vers la nappe<sup>2</sup>.

Suivant la profondeur des couches perméables du sol, des ouvrages d'infiltration en surface ou à faible profondeur comme les noues, les tranchées ou les bassins, ou au contraire des ouvrages comme des puits permettant l'infiltration à une profondeur plus importante, peuvent être utilisés.

Les méthodes de détermination de la perméabilité du sol seront décrites au paragraphe 2.2.2.

Le tableau 3 suivant donne des exemples de valeurs de perméabilité :

Type de sols	Conductivité hydraulique en m/s
Graviers	$>10^{-2}$
Sables avec graviers	$10^{-3} - 10^{-2}$
Sables grossiers	$10^{-4} - 10^{-3}$
Sable fin	$10^{-5} - 10^{-4}$
Sable très fin	$10^{-6} - 10^{-5}$
Argile	$<10^{-9}$

**Tableau 3 : Exemples de perméabilité pour différents types de sol**

Source Hubert  
DUPIN, ECP, 2011

<sup>2</sup> Programme de recherche Ecopluis, 2009. Guide technique.

### 2.2.1.2 Influence de l'hétérogénéité du sol sur l'infiltration

En France, les sols contiennent majoritairement des couches sédimentaires, non homogènes, qui favorisent des parcours préférentiels de l'eau, modifiant la vitesse d'écoulement de l'eau infiltrée.

La variété des matériaux peut également provoquer une rétention plus ou moins importante des micropolluants.

L'hétérogénéité du site, surtout en secteur urbain, peut être déterminée par la connaissance géologique du site et par des méthodes géophysiques, décrites dans le paragraphe 2.3.

### 2.2.1.3 Influence de la hauteur de la nappe sur l'infiltration

Les volumes de stockage des eaux pluviales dans le sol sont limités par la hauteur de la nappe.

Par ailleurs, plus la nappe est haute, plus l'épaisseur de la zone non saturée du sol est faible. Cela limite la capacité de rétention, de filtration et de dégradation des polluants par le sol.

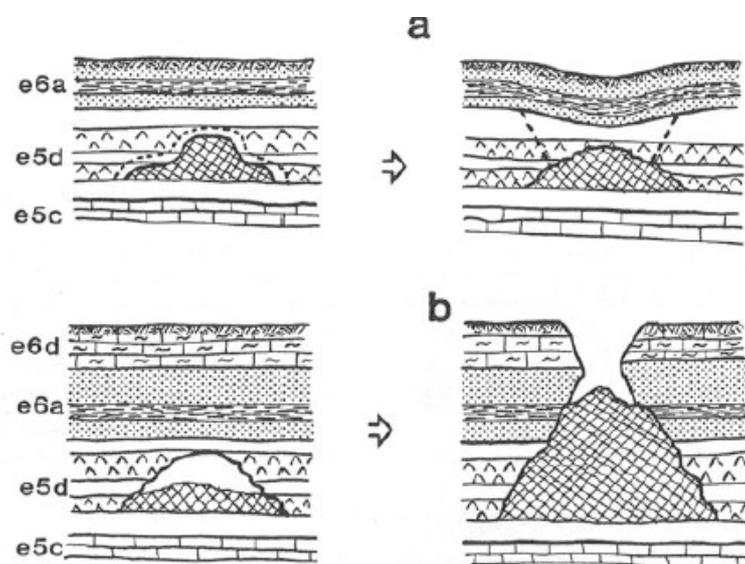
Il est conseillé que le niveau piézométrique de la nappe soit à plus d'un mètre en-dessous du fond de l'ouvrage<sup>3</sup>.

### 2.2.1.4 Terrains incompatibles à l'infiltration

Certains types de terrains ne sont pas adaptés à l'infiltration des eaux pluviales :

- **Proximité de carrières**

La proximité de carrières, par un remblaiement partiel ou instable, peuvent entraîner des affaissements ou effondrements par la création d'un fontis (effondrement localisé). Ce phénomène peut être aggravé par la dissolution du gypse (cf. figure 1).



Source *Plan de Prévention des Risques de Mouvements de Terrain, Département du Val d'Oise, Commune d'Argenteuil, 2010*

Figure 1 : affaissement (a) et effondrement (b) dus à une cavité souterraine

- **Sols gypseux**

Les sols gypseux ne peuvent pas être utilisés pour l'infiltration des eaux pluviales. En effet, du fait de sa composition, le gypse est très sensible aux circulations d'eau de nappe, car il est très soluble au contact de l'eau. C'est ainsi que des

<sup>3</sup> CERTU, 2003, « La ville et son assainissement »,

dissolutions peuvent se créer et engendrer des cavités souterraines pouvant se transformer en fontis, menaçant la stabilité de l'ouvrage.

Les effondrements de cavités (naturelles ou anthropiques) sont favorisés par la dissolution du gypse.

- **Sols argileux**

Le phénomène de retrait-gonflement correspond à un risque lié aux changements d'humidité des sols à dominante argileuse. Les sols fins comprenant une proportion importante de minéraux argileux présentent en effet un comportement mécanique variable selon la quantité d'eau qu'ils renferment.

Sur le site internet [www.argiles.fr](http://www.argiles.fr) (BRGM, Ministère de l'écologie), des dispositions préventives sont prescrites en cas de construction sur des sols argileux sujets au phénomène de retrait-gonflement. Parmi celles-ci, on trouve une prescription relative à l'infiltration des eaux pluviales sur ce type de sol : *«Tout élément de nature à provoquer des variations saisonnières d'humidité du terrain (arbre, drain, pompage ou au contraire infiltration localisée d'eaux pluviales ou d'eaux usées) doit être le plus éloigné possible de la construction».*

S'il est reconnu que l'infiltration des eaux présente un risque pour le bâti et vraisemblablement les réseaux enfouis, il est cependant encore mal connu, notamment les distances à respecter entre les zones d'infiltration et le bâti. Les sites à risque devront faire l'objet d'un avis géotechnique spécifique.

- **Remblais**

La présence de remblais peut favoriser des tassements a posteriori pouvant menacer la stabilité d'un ouvrage. L'installation d'un ouvrage d'infiltration doit donc être précédée d'une étude de l'influence de la composition en remblais du sol.

- **Glissements de terrain**

La modification de l'érosion naturelle du sol et du régime hydraulique pouvant être provoquée par l'infiltration d'eaux pluviales peut avoir pour conséquence des glissements de terrain (déplacement de masses de matériaux le long d'une surface de rupture).

- **Pentes importantes**

Au-delà de 7%, la pente de l'emplacement de l'ouvrage est trop importante pour l'infiltration des eaux pluviales<sup>4</sup>.

- **Sols chargeant les eaux infiltrées en fines**

Il est conseillé d'éviter les sols qui entraînent le chargement en fines des eaux infiltrées, qui vont favoriser le colmatage des ouvrages (sols peu végétalisés, talus à forte pente, proximité d'agriculture intensive ou de zones en construction).

La composition en gypse du sol, le retrait-gonflement des sols argileux, ainsi que la présence de remblais et la possibilité de glissements de terrain sont des éléments pris en compte dans un PPRMT (voir partie 1.12).

---

<sup>4</sup> Urbonas & Stahre, 1993

### **2.2.1.5 Cartographie de l'infiltrabilité des sols**

Afin de localiser les sols dans lesquels une infiltration des eaux pluviales est possible, des cartographies de l'infiltrabilité des sols ont parfois été réalisées.

Le département des Hauts-de-Seine par exemple, s'est doté d'un outil cartographique<sup>5</sup> permettant de visualiser :

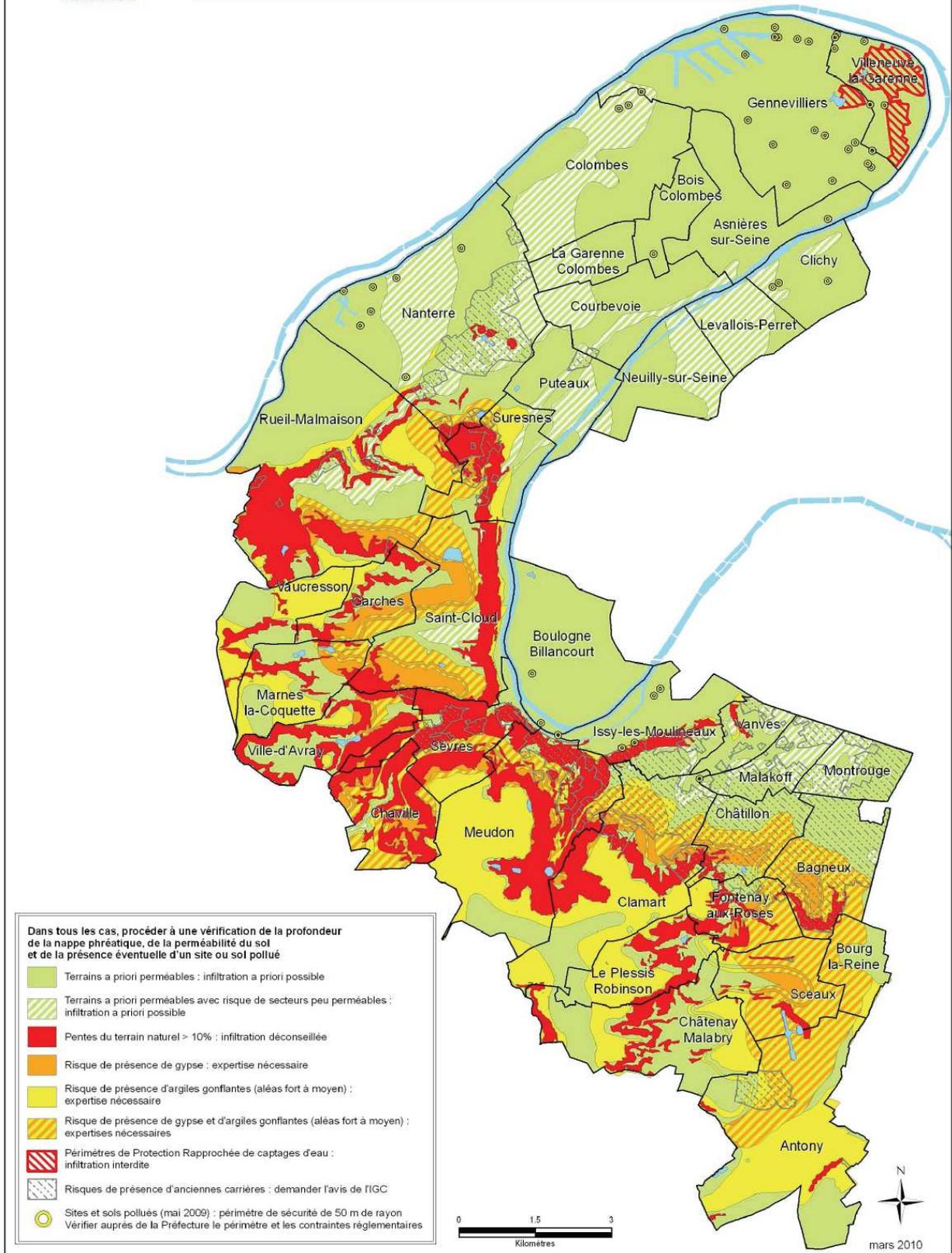
- les terrains sans contrainte forte de dimensionnement ;
- la présence de gypse ;
- le risque de retrait-gonflement d'argiles ;
- les pentes de terrain supérieures à 10% ;
- la présence d'anciennes carrières ;
- la présence de sites et sols pollués.

La carte synthétique obtenue est présentée ci-après (cf. figure 2).

---

<sup>5</sup> Guillon A., Roux C., Bertrand C., Pierlot D., Novatech 2010. «Cartographie de l'infiltrabilité à l'échelle du Département des Hauts-de-Seine (170 km<sup>2</sup>) pour l'aide au choix d'une technique de maîtrise des eaux pluviales à la source».

## Cartographie de l'infiltrabilité des sols dans le département des Hauts-de-Seine



**Figure 2 : Carte Multicritères synthétique de l'infiltrabilité des sols dans le département des Hauts de Seine**

Après avoir étudié les différents sols, voici les méthodes de mesure de la perméabilité des sols et sous-sols.

## 2.2.2 Méthodes de mesure de la perméabilité du sol et du sous-sol

### 2.2.2.1 Principe des mesures de la perméabilité du sol

Ces mesures exploitent la loi de Darcy, qui exprime que la vitesse moyenne de l'écoulement de l'eau libre dans le sol entre deux points d'une même ligne de courant est proportionnelle à la différence de hauteurs piézométriques entre ces deux points et inversement proportionnelle au chemin parcouru. Le coefficient de proportionnalité est appelé coefficient de perméabilité du sol.

Les mesures de perméabilité sont réalisées in situ afin d'éviter la modification de la structure du sol et les effets de bords apparaissant en laboratoire.

### 2.2.2.2 Essai Porchet

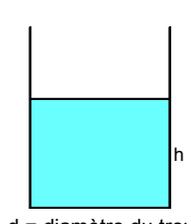
Le principe général de l'essai Porchet consiste à creuser une cavité dans le sol, à la remplir d'eau puis à mesurer la baisse du niveau d'eau après son remplissage (ou à mesurer le volume d'eau à ajouter après son remplissage pour maintenir un niveau constant). La mesure de la variation de la hauteur d'eau ou du volume d'eau à ajouter en fonction du temps permet de déterminer le coefficient de perméabilité du milieu dont elle dépend.

La caractérisation de la capacité d'infiltration du sol nécessite donc :

- un sondage à la tarière à main pour déterminer les caractéristiques pédologiques du sol (trou de 80 cm de profondeur et 15 cm de diamètre) ;
- un test d'infiltration réalisé à niveau d'eau constant à l'aide d'un infiltromètre ; ce test est réalisé après saturation du sol (injection d'eau dans le trou pendant 1 à 4h selon le type de sol).

Une fois le sol saturé, on connecte le régulateur de niveau (situé au fond du trou) à la cellule de mesure (bidon gradué de 2l). Le temps minimum de mesure est de 10 minutes. Le calcul de la perméabilité du sol se fait alors de la manière suivante :

Méthode de calcul



d = diamètre du trou

Surface d'infiltration :  $S = \pi d^2/4 + \pi X d X h$  en  $m^2$

Volume infiltré = V (en ml)

temps = t (en min)

$k$  en ml/min = perméabilité intrinsèque =  $V/t$

$K = V/(S \times t)$  en  $ml/m^2 \times min$

$K (mm/h) = (V/S \times t) \times (60/1000) = (k(ml/min)/S) \times (60/1000)$

Les photos suivantes présentent le matériel (figures 3 et 4) :

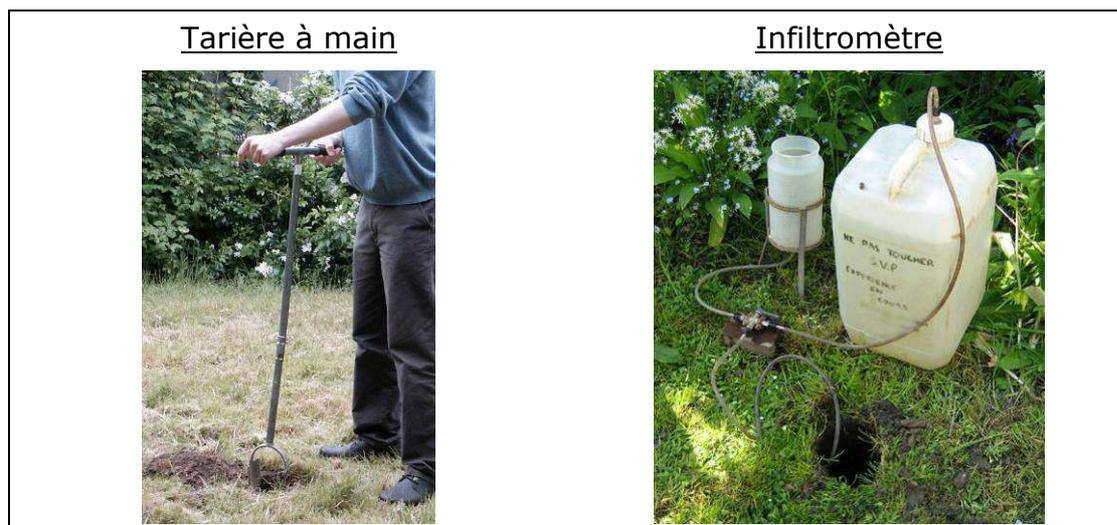


Figure 3 : Illustrations du matériel utilisé pour la réalisation des essais Porchet

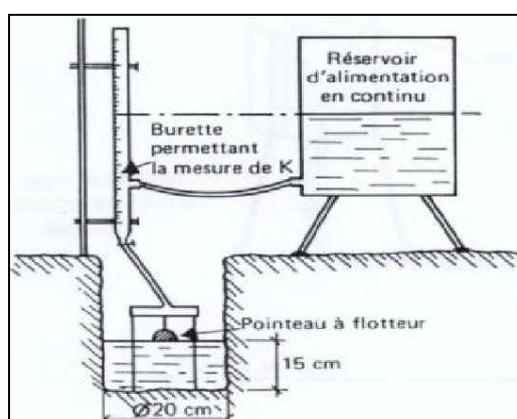


Figure 4 : Schéma de principe de l'essai Porchet

Ce type d'essai est adapté pour la mesure de la perméabilité dans les couches superficielles du sol. Par ailleurs, compte tenu de la faible précision de cet essai, son utilisation est uniquement conseillée pour le dimensionnement des systèmes individuels d'infiltration d'eaux usées, pour un débit inférieur à 150l/jour. Enfin, il est très sensible au mode opératoire utilisé ; l'usage d'une tarière peut notamment diminuer sensiblement les mesures de perméabilité en tassant les sols.

### 2.2.2.3 Essai Lefranc

Par rapport à l'essai Porchet, l'essai Lefranc permet de mesurer plus précisément la perméabilité d'un sol. De plus, il est adapté à la détermination de la perméabilité de couches plus profondes.

Ce type d'essai est utilisé pour des sols en nappe, en état de saturation. Il est adapté aux sols fins ou grenus.<sup>6</sup> Une cavité est réalisée par forage au niveau de la couche de sol étudiée. Une différence de charge avec l'extérieur est appliquée par injection ou pompage dans la cavité de dimension connue. Elle est ensuite aménagée afin que la filtration se fasse uniquement par les parois de cette cavité

<sup>6</sup> DISE, 2009. Aires d'infiltration des stations d'épuration. Guide de conception et de gestion ».

et non par celles du forage. L'essai se réalise soit à charge constante, soit à charge variable.

L'interprétation des essais Lefranc s'effectue selon l'expression :

$$Q(\text{pompage ou infiltration}) = mKHD$$

Avec :

- m : coefficient de forme de la cavité (sans unité). Il dépend de la forme de la cavité et de sa position par rapport aux limites de l'aquifère. Les valeurs du facteur de forme sont définies par la norme française NF P 94-132 ;
- D : diamètre de l'ouvrage en m ;
- K : conductivité hydraulique du milieu en m/s ;
- H : Hauteur d'eau au dessus du niveau statique de la nappe lors du démarrage de l'essai.

- **Essai Lefranc à charge constante**

L'essai à niveau constant est réalisé dans les sols perméables ( $K > 10^{-5}$  m/s). L'eau est pompée et injectée à débit constant dans la cavité jusqu'à stabilisation du niveau dans le forage.

- **Essai Lefranc à charge variable**

Lorsque la perméabilité du terrain est faible ( $K < 10^{-5}$  m/s), le débit à injecter devient très faible et il est alors difficile d'atteindre le régime permanent (niveau constant). L'essai est donc réalisé en faisant brusquement varier le niveau d'eau dans le forage :

- soit en y prélevant un volume V puis en étudiant le retour vers le niveau d'équilibre ;
- soit en remplissant d'eau le forage, et en mesurant en fonction du temps l'abaissement du niveau d'eau dans la colonne. Les pertes par évaporation sont donc à négliger (essai de perméabilité par absorption).

L'un des inconvénients de ce type d'essai est le phénomène de colmatage des parois de la cavité qui peut fausser les résultats. D'autre part, il est capital de connaître précisément le niveau de la nappe à l'origine. Il faut donc attendre la stabilisation du niveau d'eau dans le tubage avant les essais.

L'essai Lefranc est adapté à des sols de conductivités hydrauliques de l'ordre de  $10^{-2}$  m/s à  $10^{-6}$  m/s (cf. figure 5).



**Figure 5 : Foreuse utilisée pour les essais Lefranc**

#### 2.2.2.4 Essai Matsuo

Pour la réalisation d'un essai Matsuo<sup>7</sup>, une tranchée rectangulaire est creusée dans le sol. On mesure alors le débit  $Q$  qu'il faut y déverser pour y maintenir une hauteur d'eau constante. Puis la fouille est allongée et le débit à nouveau mesuré. La différence entre les débits mesurés est le débit absorbé par la longueur supplémentaire de fouille. L'influence des extrémités est ainsi éliminée. (MATSUO et AKAI, III<sup>ème</sup> Congrès International de Mécanique des Sols, Zürich, 1958).

Deux cas sont possibles :

- le plancher imperméable est très bas :

$$K = \frac{Q}{B + 2H}$$

Avec :

- B : largeur de la fouille au niveau du plan d'eau
- H : profondeur de l'eau dans la faille
- Q : débit absorbé par unité de longueur

- le plancher imperméable est assez près de la tranchée :

$$K = \frac{Q}{B - 2H}$$

Le calcul de la perméabilité par cette méthode présente l'inconvénient d'être assez simpliste. Des éléments complémentaires ont été développés pour obtenir des résultats plus précis (Muskat 1946, Polubarinova, Kochina, 1964). Ces compléments sont décrits par Lamachère, 1971.

Cet essai est particulièrement adapté aux sols peu perméables<sup>8</sup>. Cependant il n'est pas normalisé.

#### 2.2.2.5 Essai Müntz

L'essai Müntz dit «infiltromètre à double anneau» est réalisé sur le sol en place sans réalisation d'une cavité. On étudie l'infiltration de l'eau contenue dans un anneau placé sur le sol, l'eau étant maintenue à une charge positive constante. L'anneau extérieur sert de barrière pour canaliser l'eau en infiltration verticale. La mesure porte exclusivement sur l'anneau intérieur en infiltration verticale.

Cet essai est particulièrement adapté aux mesures de surface.

### 2.3 Méthodes de mesure de l'hétérogénéité du sol et du sous-sol

Les principales méthodes géophysiques permettant d'estimer l'hétérogénéité du sous-sol sont les suivantes :

- le radar géologique, qui permet de détecter d'anciens réseaux ou des cavités de manière simple ;

---

<sup>7</sup> Lamachère J.M., BRGM, 1971. «Mesure «in-situ» de la perméabilité d'un sol non saturé».

<sup>8</sup> DISE (Délégation InterServices de l'Eau Seine-Maritime), 2009. «Aires d'infiltration des stations d'épuration. Guide de conception et de gestion».

- la sismique réfraction, plus complexe, qui permet de déterminer les singularités ainsi que le niveau de la nappe ;
- la résistivité électrique, également complexe, mais qui permet de déterminer précisément la répartition de l'eau dans la zone non saturée ainsi que le niveau de la nappe.

## 2.4 Méthode de mesure du niveau de la nappe

Le niveau de la nappe peut être suivi par des piézomètres (cf. annexe 2 : pose de piézomètres). Une mesure minimale de un an est conseillée afin de déterminer le niveau des eaux de la nappe les plus hautes, en mesurant leurs variations saisonnières.

Les piézomètres sont des puits ou des forages étroits qui permettent d'accéder à la nappe depuis la surface. Le niveau piézométrique est mesuré à l'aide d'une sonde.

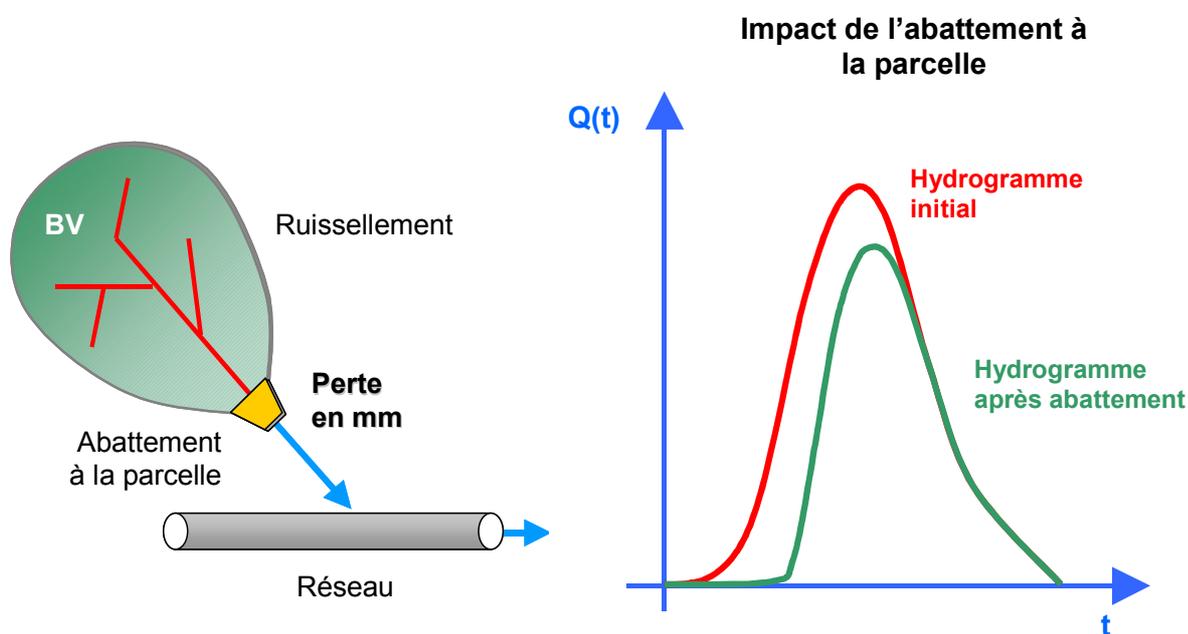
Il est généralement utilisé des capteurs automatiques qui enregistrent les fluctuations du niveau du toit de la nappe au cours de l'année.

## 2.5 Techniques d'infiltration existantes

### 2.5.1 Principe général des techniques d'infiltration

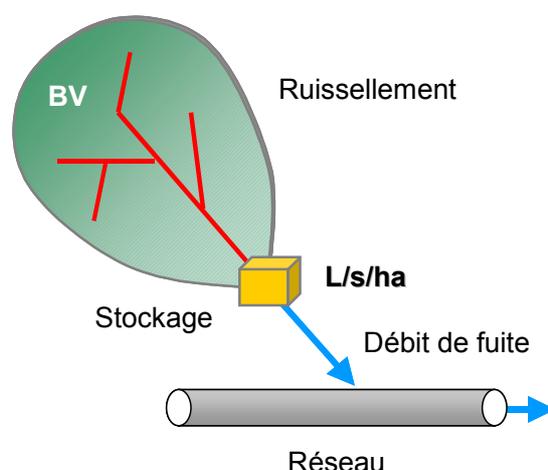
Les techniques d'infiltration consistent à stocker les eaux pluviales dans une capacité de rétention. Elles s'infiltrent ensuite progressivement dans le sol selon sa perméabilité, sans restitution ultérieure au réseau.

Elles permettent donc des abattements à la parcelle, en augmentant les pertes initiales au ruissellement. Ceci est représenté sur le schéma suivant (figure 6) :

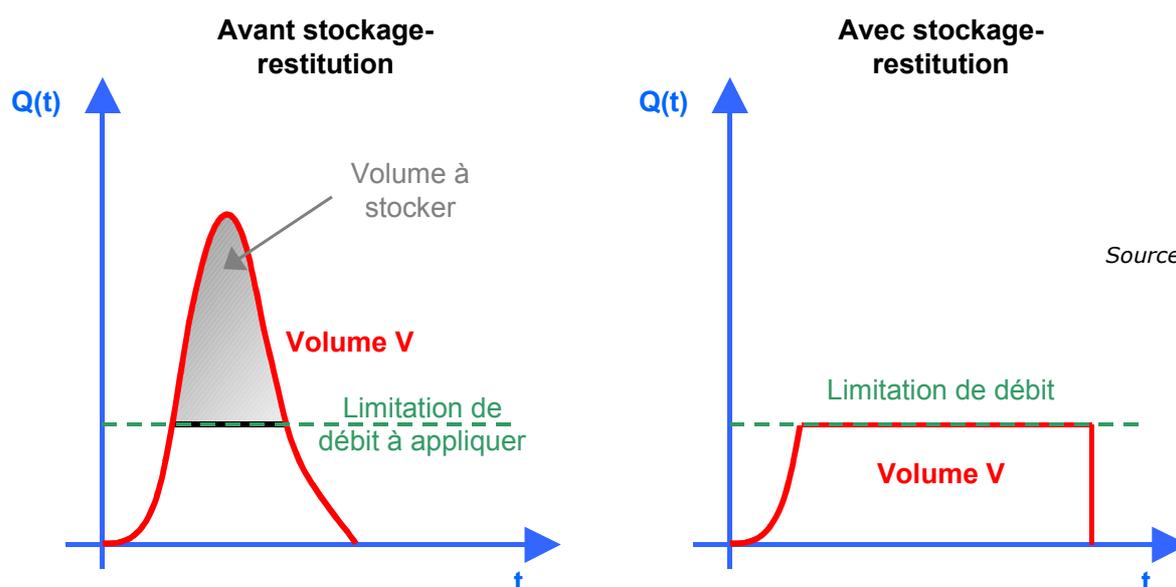


**Figure 6 : Représentation de l'abattement à la parcelle et son impact sur l'hydrogramme (techniques d'infiltration)**

En cela, leur fonctionnement diffère de celui des techniques de stockage-restitution, qui écrêtent les débits en stockant les eaux pluviales et en les restituant au réseau avec un débit de fuite imposé (exprimé en L/s/ha). Ce principe est illustré sur la figure suivante (figure 7) :



Source SAFEGE



Source SAFEGE

Figure 7 : Représentation de la limitation des débit de rejets et de son impact sur l'hydrogramme (technique de stockage - restitution)

Les principales techniques d'infiltration des eaux pluviales existantes sont :

- les noues d'infiltration ;
- les fossés d'infiltration ;
- les tranchées d'infiltration ;
- les puits d'infiltration ;
- les chaussées à structure réservoirs ;
- les bassins d'infiltration ;
- les espaces publics inondables ;

- les toitures végétalisées, qui ne sont pas à proprement parler une technique d'infiltration car toute l'eau pluviale recueillie n'est pas infiltrée, mais qui constituent des abattements à la parcelle.

Mis à part le puits d'infiltration, toutes ces techniques présentent leur équivalent avec une étanchéité et une évacuation à débit régulé vers le réseau d'eaux pluviales ou unitaire.

Chacune de ces techniques fait l'objet d'une fiche en annexe 1. Le tableau présenté dans la partie suivante résume les avantages et les inconvénients de chaque technique (cf. tableau 4).

### **2.5.2 Avantages et inconvénients de chaque technique d'infiltration<sup>9</sup>**

---

<sup>9</sup> Photos issues de : Région Rhône-Alpes, Agence de l'eau RM&C, CERTU, GRAIE, Grand Lyon, INSA de Lyon, P.Pionchon, SINT, 2006. « Pour la gestion des eaux pluviales. Stratégie et solutions techniques ». Sauf : « Espace vert inondable » issu de la conférence « La ville et son assainissement » ; et « Fossé d'infiltration » issu de : Agence de l'eau, « Vers une nouvelle politique de l'aménagement urbain par temps de pluie ».

Techniques d'infiltration		Avantages	Inconvénients
<b>Noues d'infiltration</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bonne intégration paysagère</li> <li>- Multi-usages possibles (terrains de sport par exemple)</li> <li>- Entretien simple du même type que pour les espaces verts</li> <li>- Coût peu élevé</li> <li>- Piègent et dégradent les polluants sans les concentrer (décantation et phytoremédiation)</li> <li>- Ralentissement des écoulements par rapport à un collecteur classique</li> <li>- Sensibilisation du public à la pollution</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Risque de colmatage par des fines</li> <li>- Entretien régulier pour limiter le colmatage et la stagnation des eaux</li> <li>- Cloisonnement nécessaire sur un site pentu pour optimiser les volumes de stockage</li> <li>- Risque d'érosion lors d'une mise en eau trop précoce</li> <li>- Emprise foncière importante</li> <li>- Risque d'accident en cas de profondeur importante</li> <li>- Risque de pollution de la nappe et des sous-sols dans le cas d'une pollution accidentelle</li> </ul>	
<b>Fossés d'infiltration</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Raccordement des canalisations de gouttières des riverains simple compte tenu de la profondeur de l'ouvrage et de son profil structuré</li> <li>- Piègent et dégradent les polluants sans les concentrer (décantation et phytoremédiation)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intégration paysagère délicate dans les zones urbaines (difficulté à planter des végétaux)</li> <li>- En milieu urbain, entretien régulier difficile</li> <li>- Aménagement des accès aux parcelles qui augmente le coût</li> </ul>	
<b>Tranchées d'infiltration</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bonne intégration même en milieu urbain dense (le long des voiries, des bâtiments, éléments structurants de parking)</li> <li>- Faible emprise foncière</li> <li>- Entretien simple (nettoyage)</li> <li>- Coût peu élevé (au maximum égal à celui d'un réseau classique de collecte de descente de gouttières)</li> <li>- Technique adaptée à la collecte des eaux pluviales de toiture à l'échelle de la parcelle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Risque de colmatage par des fines</li> <li>- Entretien régulier pour limiter les risques de colmatage</li> <li>- Cloisonnement nécessaire sur un site pentu pour optimiser les volumes de stockage</li> <li>- Risque d'instabilité des terrains en présence d'eau dans le sol</li> <li>- Risque de pollution en fonction de la provenance des eaux de ruissellement</li> </ul>	
<b>Puits d'infiltration</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conception simple</li> <li>- Bonne intégration même en milieu urbain dense</li> <li>- Emprise foncière minimale</li> <li>- Pas de contrainte topographique majeure</li> <li>- Entretien simple bien que plus complexe que pour les noues et les tranchées</li> <li>- Coût peu élevé</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Risque de colmatage par des fines</li> <li>- Entretien régulier pour limiter les risques de colmatage</li> <li>- Bonne connaissance de la perméabilité des différentes couches du sol nécessaire</li> <li>- Nécessité de prévoir un accès à l'ouvrage pour l'entretien</li> </ul>	
<b>Chaussées à structures réservoir</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Excellente insertion même en milieu urbain dense</li> <li>- Supporte la circulation et le stationnement</li> <li>- Aucune emprise foncière supplémentaire</li> <li>- Pas de surcoût notable par rapport à une chaussée traditionnelle, canalisations et bassin de rétention</li> </ul> <p><b>Pour les enrobés drainants :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Réduction du bruit de roulement</li> <li>- Amélioration de l'adhérence</li> <li>- Réduction des projections d'eau et de la formation de plaques de verglas</li> <li>- Amélioration de la visibilité et du confort de conduite sous la pluie</li> <li>- Pas de flaque d'eau et confort de marche lié à la souplesse du revêtement</li> <li>- Quantité importante de polluants retenue (matières en suspension, métaux lourds)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Risque de pollution accidentelle</li> <li>- Entretien important</li> <li>- Contrainte sur le choix de la végétation environnante pour éviter le développement de racines</li> <li>- Structure tributaire de l'encombrement du sous-sol</li> <li>- Coût supérieur à celui de noues et de fossés</li> </ul> <p><b>Pour les enrobés drainants :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Augmentation du risque de colmatage pour des trafics faibles</li> <li>- Faible résistance au cisaillement, à proscrire dans les virages serrés et les rond-points</li> <li>- Non adapté lorsque les apports de fines peuvent être importants</li> <li>- Non adapté pour des pentes importantes</li> </ul>	
<b>Bassins d'infiltration</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Volumes de stockage importants</li> <li>- Dépollution par décantation et phytoremédiation</li> </ul> <p><b>Pour les bassins à ciel ouvert :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bonne intégration possible (multi-usages)</li> <li>- Pas de contrainte morphologique</li> <li>- Création de zones humides écologiquement intéressantes</li> <li>- Simplicité d'entretien (similaire à celui des espaces verts)</li> <li>- Réserve incendie ou pour l'arrosage</li> <li>- Sensibilisation du public aux volumes générés par temps de pluie</li> </ul> <p><b>Pour les bassins enterrés :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aucune emprise foncière</li> <li>- Dans les bassins en eau, des phragmites ou roselières peuvent améliorer l'épuration de l'eau</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entretien régulier indispensable pour limiter les risques de colmatage et de stagnation des eaux</li> <li>- Etude amont du fonctionnement hydraulique lors d'événements pluvieux intenses nécessaire</li> </ul> <p><b>Pour les bassins à ciel ouvert :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Emprise foncière importante</li> <li>- Coûts importants</li> <li>- Prétraitement nécessaire pour limiter le colmatage et la pollution (dégrillage, dessablage, déshuilage)</li> <li>- Dans les bassins en eau, niveau d'eau minimal à maintenir en période sèche</li> <li>- Nécessité de mesures de sécurité pour les bassins accessibles aux usagers</li> <li>- Risque de pollution du sous-sol en cas de pollution accidentelle</li> </ul> <p><b>Pour les bassins enterrés :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût plus élevés que pour les bassins à ciel ouvert</li> <li>- Prévoir un accès pour l'entretien</li> </ul>	
<b>Espaces publics inondables</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aucune emprise foncière (utilisation mixte d'un espace urbain)</li> <li>- Inondation peu fréquente (1 à 2 fois par an)</li> <li>- Réduction de la taille des ouvrages de rétention</li> <li>- Sensibilisation des riverains</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Etude d'intégration architecturale et paysagère conseillée</li> <li>- Entretien devant être extrêmement suivi en cas de décantation et de dépôts importants</li> </ul>	
<b>Toitures végétalisées</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aucune emprise foncière</li> <li>- Adaptables aux toitures traditionnelles</li> <li>- Très bonne intégration architecturale et paysagère</li> <li>- Fonction d'isolation thermique</li> <li>- Adaptées à l'échelle de la parcelle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bonne étanchéité impérative</li> <li>- Entretien régulier (deux visites d'entretien par an d'après la chambre syndicale d'étanchéité)</li> <li>- Non adaptée aux toits de pente supérieure à 5%</li> <li>- Non adapté aux toits plats (toits de montagne)</li> </ul>	

**Tableau 4 : Comparaison des techniques d'infiltration des eaux pluviales**

### 2.5.3 Aide au choix, à la conception et à la gestion des politiques d'infiltration

Comme l'a montré la partie précédente, les performances techniques, économiques, environnementales et sociales de l'infiltration diffèrent grandement selon la technique utilisée. Des approches multicritères d'aide au choix, à la conception et à la gestion des politiques d'infiltration des EP sont en cours de développement.

Les critères de performance utilisés peuvent être<sup>10</sup> :

- ne pas inonder gravement et trop souvent ;
- permettre un bon état de la nappe ;
- contribuer à la recharge des nappes ;
- ne pas polluer le sol en profondeur ;
- aptitude à retenir la pollution dans l'ouvrage ;
- aptitude à être techniquement et facilement maintenable ;
- ne pas compromettre la santé et la sécurité des usagers/personnels ;
- avoir un coût peu élevé ;
- ...

Pour chacun de ces critères, un ou plusieurs indicateurs sont proposés. Par exemple, la performance consistant à ne pas inonder gravement et trop souvent, pour la phase de conception, est évaluée par les deux indicateurs suivants :

$$IP1-1 = F_{dim} \text{ et } IP1-2 = \text{Max} (V_{debi}) \times k$$

Avec :

$F_{dim}$  : fréquence de dimensionnement

$V_{debi}$  : volume débordé pendant un événement  $i$  sur une période de référence (durée de vie estimée ou sur une période donnée)

$k$  : coefficient de vulnérabilité dépendant des surfaces touchées.

## 2.6 Limiter la pollution des sols et des nappes par les eaux pluviales et de ruissellement

### 2.6.1 Origines des polluants dans les ouvrages d'infiltration

L'infiltration d'eaux pluviales et de ruissellement présente le risque de diffuser de manière importante des polluants (métaux lourds, hydrocarbures, matières organiques dissoutes) dans la zone non saturée du sol jusqu'à la nappe. A perméabilité égale, l'épaisseur de la zone non saturée du sol constitue donc un facteur clé de réduction de la pollution de la nappe par l'infiltration des eaux pluviales.

Les polluants collectés dans les ouvrages d'infiltration proviennent généralement de la pollution atmosphérique, du lessivage des dépôts de temps sec accumulés sur les bassins versants, de l'érosion des matériaux urbains, de la remise en suspension par temps de pluie des dépôts accumulés par temps sec dans les réseaux d'assainissement. Les solutions collectant les eaux pluviales **à la source** (avant leur

<sup>10</sup> Moura P., Barraud S., Baptista M., 2006. « Procédure multicritère pour la conception et le suivi des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales ».

ruissellement) évitent de lessiver la pollution de surface et de collecter des dépôts provenant du réseau.

Par ailleurs, pour que l'infiltration des eaux pluviales et de ruissellement soit possible, le sol doit pouvoir dégrader la pollution reçue : c'est «l'atténuation naturelle». L'étude de cette capacité naturelle du sol doit être réalisée sur des sites à risques. Pour connaître ceux-ci, le maître d'ouvrage pourra utiliser les informations disponibles dans les bases de données BASIAS et BASOL.

La base de données BASIAS du BRGM<sup>11</sup> présente un inventaire de l'ensemble des sites industriels, abandonnés ou non, susceptibles de polluer l'environnement. Les informations sont destinées aux propriétaires de terrains, aux exploitants et aux collectivités. Elles leur permettent de prévenir les risques occasionnés par une éventuelle pollution des sols en cas de modification d'usage.

Les sites et sols pollués par des activités industrielles existantes sont recensés dans la base de données BASOL<sup>12</sup> de la Direction Générale de la Prévention et des Risques (DGPR) du Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement.

### **2.6.2 Nécessité d'une décantation en amont des ouvrages d'infiltration**

La pollution des eaux pluviales et de ruissellement provient principalement des matières en suspension. Une décantation préalable à l'infiltration lorsque les ouvrages ne sont pas situés à la source est un moyen efficace pour piéger les polluants.

Le GRAIE préconise ainsi que tout ouvrage dont le ratio surface d'infiltration/surface active du bassin versant est strictement inférieur à 1% nécessite une décantation préalable.<sup>13</sup>

Pour la mise en œuvre de bassins de décantation des eaux pluviales, il est préconisé que :

- le fond du bassin soit horizontal et porteur pour permettre le curage des matières décantées ;
- l'ouvrage d'entrée soit aménagé pour ralentir l'écoulement et éviter l'érosion des berges. Il devra permettre au maximum la ré-oxygénation des effluents, et la répartition des flux sur toute la largeur du bassin (pour éviter les phénomènes de chemins préférentiels) ;
- le bassin soit précédé d'un système de dégrillage ;
- les abords du bassin soient aménagés de manière à permettre l'accès à un engin de curage ;
- l'ouvrage de sortie permette : la régulation du débit de sortie et le confinement d'une pollution accidentelle (vanne). Il sera équipé d'une cloison siphonide ;
- pour une bonne décantation des matières en suspension dans le bassin, le rapport longueur/largeur devra être au moins de 6 ;
- en l'absence d'étude géotechnique spécifique, le ratio vertical/horizontal des pentes de berges soit inférieur à 1/3 et que la hauteur utile soit inférieure ou égale à 1,5 m ;
- un déversoir soit prévu pour décharger l'ouvrage en cas d'évènement pluvieux exceptionnel (PR 100 ans) ;

---

<sup>11</sup> <http://basias.brgm.fr>

<sup>12</sup> <http://basol.ecologie.gouv.fr/>

<sup>13</sup> Programme de recherche Ecopluiés, 2009. « L'infiltration en questions ».

- le bassin soit clôturé.

Deux configurations de bassin sont mises en avant pour leur efficacité à abattre la pollution chronique des eaux pluviales :

- Les bassins paysagers avec volume mort en eau ;
- Les bassins de type « sanitaires » (dénomination SETRA) où le volume mort est situé dans un massif filtrant.

- **Bassin avec volume mort**

La mise en œuvre d'un volume mort permet :

- De maintenir en eau la cloison siphonide, pour retenir les polluants de type hydrocarbures ;
- De favoriser le développement de la végétation (macrophytes) ;
- De piéger de manière systématique les polluants non miscibles et plus lourds que l'eau (pollution accidentelle) ;
- De favoriser l'abattement des pollutions chroniques par décantation.

Remarque : la vitesse horizontale (débit maximal à traiter divisé par la section de passage) doit être inférieure à 0,15 m/s.

- **Bassin de type sanitaire**

Ce type de bassin sera privilégié lorsque les nuisances potentielles liées au volume mort (odeurs, moustiques, ...) sont à proscrire. Un bassin avec volume mort reste cependant plus efficace.

L'ouvrage de sortie est dans ce cas plus complexe. La vidange finale du volume mort (contenu dans un massif filtrant) est réalisée dans une cuve enterrée, permettant la mise en œuvre d'une cloison siphonide toujours noyée (piégeage des pollutions chroniques en hydrocarbures et des pollutions accidentelles).

## 2.7 Limiter le colmatage des ouvrages d'infiltration

Le colmatage des ouvrages d'infiltration diminue la perméabilité du sol. Il est provoqué par les dépôts de particules en surface et dans les interstices du milieu poreux (cf. figure 8).



**Couche de colmatage**

*Source Grand Lyon.  
Programme  
Ecopluies,  
2009. « L'infiltration  
en questions ».*

**Figure 8 : Exemple de coupe de sol en fond du bassin d'infiltration de Django Reinhardt (Chassieu)**

Un entretien fréquent permet de retarder le colmatage et de curer l'ouvrage.

Sur des ouvrages de taille importante comme des bassins d'infiltration, la mesure de la résistance hydraulique de l'interface ouvrage/sol, c'est-à-dire la durée nécessaire à une unité de volume d'eau pour traverser la couche colmatée sous une charge

unitaire, permet d'évaluer le colmatage. Un système présentant une résistance hydraulique supérieure à 24h est un système en dysfonctionnement<sup>14</sup>.

Sur des ouvrages d'infiltration à la source comme les noues ou les puits, la conductivité hydraulique peut être mesurée à l'aide d'infiltromètres de surface.

Des études sur le colmatage des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales ont été réalisées par l'OTHU afin de prévenir ce phénomène en le caractérisant et en suivant son évolution dans le temps<sup>15</sup>.

---

<sup>14</sup> Gautier, 1998 et Dechesne, 2002.

<sup>15</sup> Fiche technique OTHU n°11. « Éléments sur le colmatage des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales ».

## **3 Intérêt de la modélisation pour la gestion des eaux pluviales**

### **3.1 Étapes d'un diagnostic pluvial**

La modélisation d'un système hydrologique et hydraulique permet de déterminer la répartition des flux dans la zone d'étude et de localiser d'éventuels débordements.

La première étape de l'élaboration d'un diagnostic pluvial consiste à analyser principalement :

- le contexte climatologique (pluviométrie), géologique (formations), hydrogéologique (nappes phréatiques), hydrographique (cours d'eau) et enfin pédologique (constitution des sols) de la zone d'étude ;
- le mode de gestion des eaux pluviales et son fonctionnement lors d'évènements extrêmes (risque d'inondations) ;
- le mode d'occupation des sols, leur taux d'imperméabilisation et leur capacité d'infiltration.

Ces données vont permettre de modéliser le fonctionnement hydrologique et hydraulique du réseau et des systèmes existants, en déterminant pour des pluies de différentes périodes de retour, l'évolution du débit en sortie en fonction du temps.

Le diagnostic est réalisé en situation actuelle, puis en situation future, en prenant en compte les projets d'urbanismes, l'éventuelle évolution des contraintes réglementaires et les travaux d'aménagement des systèmes de gestion des eaux pluviales programmés.

Il peut ainsi permettre d'effectuer le zonage pluvial de l'aire d'étude (voir partie 1.14) et de dimensionner les ouvrages de maîtrise des EP éventuellement nécessaires.

#### Exemples d'objectifs de modélisation :

- évaluer les conditions permettant de créer de nouvelles surfaces imperméabilisables en s'assurant du respect des contraintes réglementaires telles un rejet maximal d'eau pluvial en sortie du site ;
- proposer des aménagements hydrauliques permettant de limiter le risque d'inondations pour une pluie d'une certaine période de retour.

### **3.2 Intérêt de la modélisation hydrogéologique des bassins versants**

Si l'on choisissait d'infiltrer toutes les eaux pluviales et de ruissellement d'une ville dans le sol, quelle en serait la conséquence sur la hausse du niveau du toit de la nappe ? Cet impact quantitatif de l'infiltration des eaux pluviales dans le sol ne semble pas développé dans la littérature. Il est possible, afin de répondre à cette question, de réaliser des modèles hydrogéologiques permettant de calculer à l'équilibre le niveau piézométrique de la nappe après infiltration des eaux pluviales.

L'hypothèse de base de ce modèle serait que toute l'eau infiltrée est injectée directement dans la nappe. Un tel modèle ne prendrait donc pas en compte les phénomènes transitoires se produisant dans la zone non saturée du sol, qui sont beaucoup plus complexes.

Deux types de modèles, réalisés par exemple avec le logiciel Modflow, pourraient être utilisés : les modèles de type « boîte noire », pour lesquels la différence entre les sorties et les entrées d'eau dans la nappe permet de calculer la variation de la réserve en eau souterraine ; ou des modèles maillés plus complexes.

Les conditions aux limites du modèle doivent être connues : le niveau initial de la nappe doit être mesuré par un ensemble de capteurs piézométriques sur le secteur d'étude et en périphérie.

### **3.3 Intérêt de la modélisation hydraulique**

#### **3.3.1 Modélisation du ruissellement**

L'analyse de la surface imperméabilisée des sols est essentielle dans le diagnostic pluvial car l'imperméabilisation grandissante des sols en milieu urbain est l'un des facteurs prépondérants des inondations.

Le coefficient de ruissellement (assimilable pour les bassins versants urbanisés au coefficient d'imperméabilisation) rend compte du pourcentage de la pluie qui participe effectivement au ruissellement sur la surface. Il peut être estimé pour chaque type de surface.

Par exemple, le coefficient de ruissellement pour un parking équipé de noues d'infiltration peut être estimé à 5 à 10%, au lieu de 80% pour un parking classique.

Ces coefficients de ruissellement renseignés dans le modèle sont susceptibles d'être légèrement modifiés pendant le calage. Cela consiste à ajuster certains paramètres afin que les simulations du modèle représentent bien la réalité.

Le modèle hydrologique développé par M. Desbordes est largement utilisé dans les études d'assainissement en France, et s'avère bien adapté à la modélisation de bassins versants d'urbanisation de taille variable (figure 9 ci-après) :

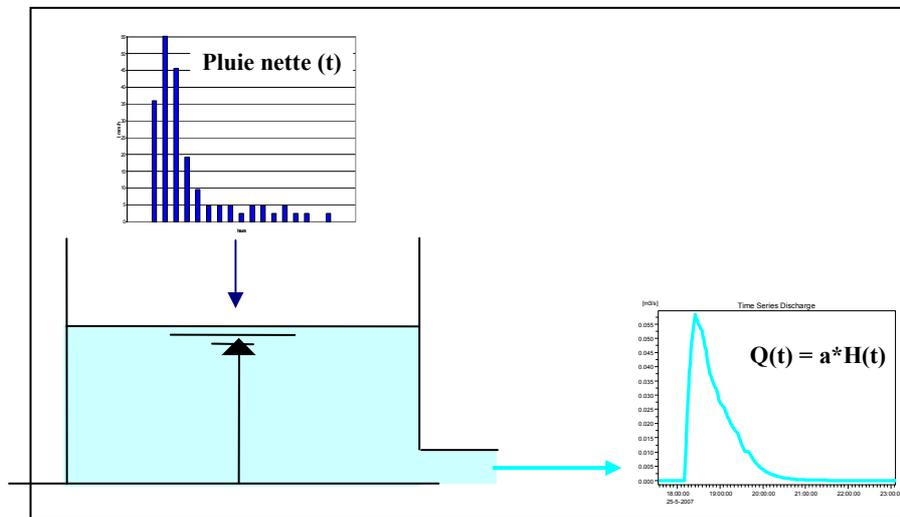
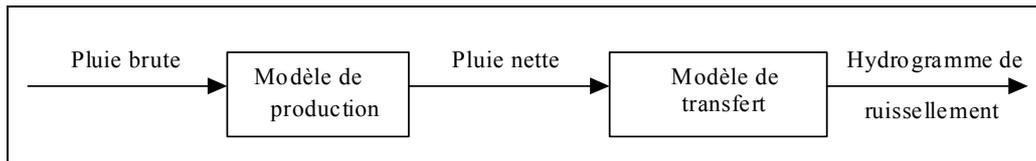


Figure 9 : Principe du modèle du réservoir linéaire

Le modèle hydraulique est quant à lui basé sur la résolution numérique des équations de Barré de Saint-Venant. Il permet la simulation d'écoulements en réseau en régime variable.

### 3.3.2 Diagnostic de fonctionnement

Le modèle après calage permet de simuler des événements pluvieux de différentes périodes de retour et d'analyser la réponse du réseau et des ouvrages.

Il permet ainsi de cartographier les éventuelles zones de débordement en comparant la hauteur d'eau simulée avec la hauteur des collecteurs et des ouvrages.

Ci-dessous, le profil en long d'un collecteur montre un exemple de débordement (figure 10).

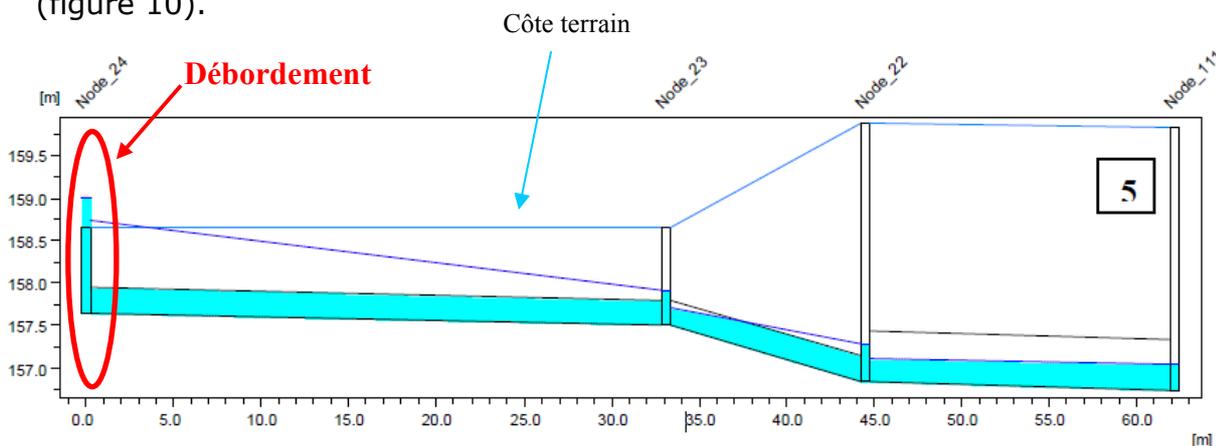


Figure 10 : Représentation d'un débordement à l'aide d'un modèle de simulation hydraulique

### 3.3.3 Zonage pluvial

Le zonage pluvial de l'aire d'étude peut alors être proposé. Il permet de déterminer :

- les 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 ;
- les zones où il est nécessaire de prévoir des installations pour assurer la collecte, le stockage éventuel et, si besoin, le traitement des eaux pluviales et de ruissellement.

Dans ce cas, ces ouvrages peuvent être dimensionnés.

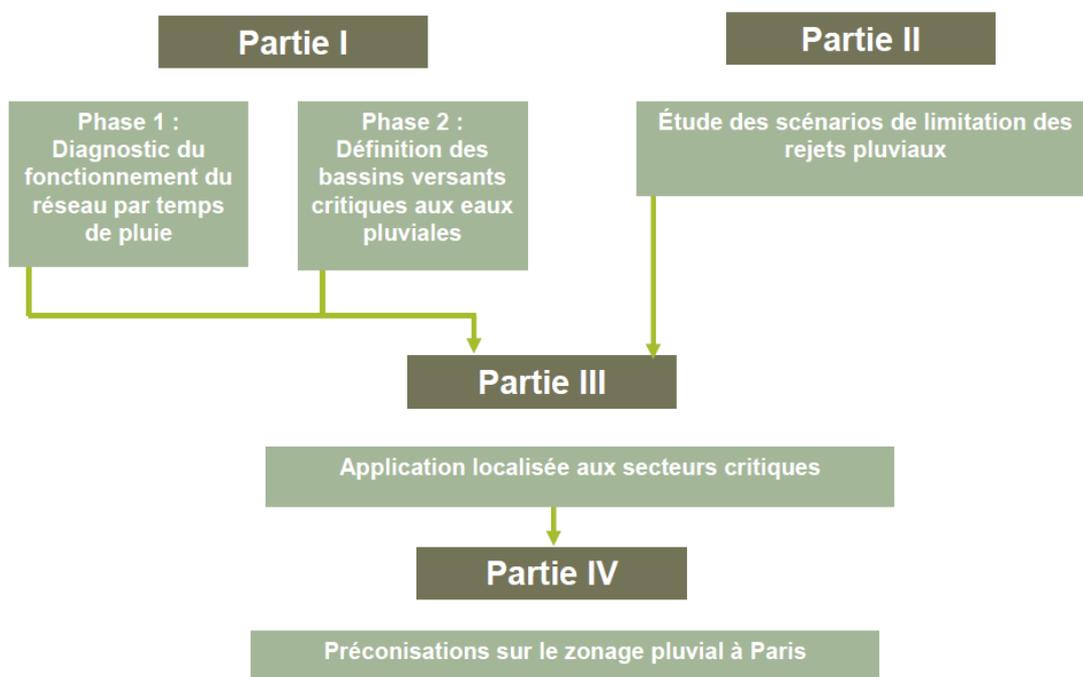
La méthode consiste à déterminer le débit maximum provenant des surfaces imperméabilisées qu'il est possible de connecter au réseau sans risque de débordements pour une pluie de période de retour donnée. Il s'agit ensuite de dimensionner des ouvrages qui permettent de respecter ce débit de fuite maximum.

La différence entre le débit provenant des surfaces imperméabilisées et le débit de fuite maximum calculé va déterminer le volume de stockage nécessaire.

La surface disponible pour l'aménagement est alors l'un des facteurs principaux de choix de la technique à utiliser. Les coûts d'investissement et d'exploitation, la simplicité de mise en œuvre et d'entretien ou encore l'intégration paysagère peuvent également être déterminants.

#### Exemple :

Une étude détaillée visant à analyser la faisabilité d'un zonage pluvial à Paris. La méthodologie mise en place a été la suivante (figure 11) :



Source AESN

Figure 11 : Méthodologie pour la réalisation du zonage pluvial de Paris

Une cartographie de trois groupes de bassins versants a été réalisée :

- en amont des zones de débordements où une prescription forte est envisageable pour réduire les inondations sur chaussée ;
- concomitants avec la pointe de débit du réseau pour une pluie de période de retour de 6 mois, où un ralentissement des écoulements serait donc favorable ;
- générant le plus de déversement à l'hectare. Certaines zones ont ainsi été identifiées comme contribuant fortement à la saturation du réseau.

Cette étude a permis de montrer que des réductions intéressantes des déversements étaient possibles grâce à des solutions d'abattement à la parcelle (toitures végétalisées ou techniques d'infiltration). Pour se faire, concentrer et limiter cette mesure uniquement dans les bassins critiques générant le plus de déversement. Des zones prioritaires à fort impact ont été définies.

Bien que l'infiltration supprime un apport d'eau au réseau, il est important de noter que son impact peut être extrêmement variable selon son point d'application dans le système. Il est très difficile de prédire quelle fraction de la pluie est déversée sur quelle portion du territoire ou participe à la saturation du réseau. Une grande attention doit donc être portée sur la meilleure localisation possible d'une telle mesure.

## 4 Les limites de l'infiltration

Les techniques d'assainissement pluvial par infiltration sont aujourd'hui de plus en plus utilisées. Leurs avantages sont nombreux tant pour le gestionnaire des systèmes techniques que pour l'aménageur : diminution des débits et des volumes d'eau à l'aval des zones assainies induisant des risques de débordements moindres et des coûts plus faibles d'infrastructures, réduction de la pollution des milieux superficiels, contribution à la ré-alimentation des nappes d'eaux souterraines, possibilité d'utiliser tout ou partie de ces techniques de façon multifonctionnelle (terrains de sport ou espaces verts inondables).

En effet, les ouvrages d'infiltration répondent aux contraintes liées au développement des villes et à l'assainissement pluvial : ils s'adaptent facilement au milieu urbain ; ils s'intègrent au paysage ; ils limitent les débits de pointe et les charges polluantes rejetées à l'aval ; ils minimisent les effets de l'imperméabilisation et du ruissellement, etc.

Toutefois, l'infiltration des eaux de ruissellement pluvial suscite encore des interrogations. Le premier type de réserve est lié à la viabilité technique de ces structures :

- comment gérer des volumes aléatoires en fonction des pluies de manière adaptée à la capacité de rétention du sol ? ➔ adaptation aux conditions hydrogéologiques locales ? Règles de dimensionnement ?
- comment mettre en œuvre une surveillance des ouvrages, un suivi hydraulique et une instrumentalisation et la métrologie adaptée ? ➔ Impact sur les milieux et risques associés (notamment pour les eaux souterraines).
- comment et avec quelle fréquence les entretenir (bonnes pratiques) ?

- se colmatent-elles rapidement ? Gestion des ouvrages ?
- que faire des produits de curage ?
- vieillissement des ouvrages ? Evaluation du risque ?

Il s'agit de systèmes difficiles à appréhender et complexes du fait des interactions entre différents phénomènes physiques, chimiques, biologiques et hydrauliques. Ils répondent également à des échelles spatiales et temporelles multiples.

## 5 Conclusion de l'étude bibliographique

La maîtrise des eaux pluviales et de ruissellement en milieu urbain devient un enjeu fort pour les collectivités, qui doivent lutter contre le risque d'inondation, préserver les milieux naturels de la pollution, la ressource en eau et protéger les stations d'épuration.

L'infiltration des eaux pluviales met en œuvre de multiples mécanismes qui restent à explorer compte tenu de la complexité des phénomènes en jeu : biologie, chimie et physique.

Lors de la recherche bibliographique, le thème le plus fréquemment rencontré concerne l'infiltration des eaux en vue de la ré-alimentation de la nappe (notamment pour l'alimentation en eau potable).

L'eau est soumise à deux mécanismes invariants que sont la gravimétrie et l'imperméabilité. Elle s'évacue soit par transpiration, évaporation ou pour par un exutoire lorsque la géomorphie du sous-sol le permet.

Lorsqu'il y a infiltration d'EP, il faut distinguer quatre phénomènes :

- L'infiltration de surface qui concerne les premiers centimètres du sol et qui font varier l'humidité (ou teneur en eau) du sol ; ceci correspond à la zone non saturée. C'est la localisation des échanges les plus nombreux entre l'atmosphère et le sol faisant appel à des processus d'évapo-transpiration et de stockage,
- L'infiltration horizontale qui est implicite lorsque les eaux rencontrent une couche imperméable ne permettant pas l'infiltration des eaux plus en profondeur. Elles suivent ainsi un axe d'écoulement (gravitaire ou conditionné par la montée en charge des eaux du sous-sol),
- L'infiltration verticale, cette dernière est constatée lorsqu'il n'y a pas de couches imperméables ou passage préférentiel,
- Le ruissellement de surface : c'est-à-dire lorsque le sol est saturé et que l'eau s'écoule en surface.

Certaines grandes intercommunalités (telle le Grand Lyon) creusent la problématique de la gestion des eaux à la source (le plus en amont possible) en secteur urbanisé pour lutter contre les inondations.

Ces choix se justifient afin de limiter l'importance des ouvrages en aval qui rendent les flux plus difficilement maîtrisables lors de fortes pluies. Ces constructions représentent un enjeu non négligeable en investissement et fonctionnement.

A ce jour, il est impossible de faire des interprétations concernant le cheminement des EP et il est nécessaire de se positionner dans un contexte précis, lié à un fonctionnement propre à chaque site (tenir compte des effets d'échelle et de structure du sol).

Ainsi pour chaque zone d'étude, il est nécessaire de prendre en compte les phénomènes d'état du sol (comportement hydrique), anthropiques et naturels (interactions et mécanismes en jeu).

La réglementation introduit de grands principes de gestion durable et intégrée des eaux pluviales. Les techniques alternatives à la collecte en réseau unitaire et séparatif des eaux pluviales et de ruissellement peuvent souvent apporter les moyens d'atteindre ces objectifs.

Au-delà des concepts et définitions présentés, il est important de s'intéresser sur le contexte socio-technico-géographique de la zone d'étude.

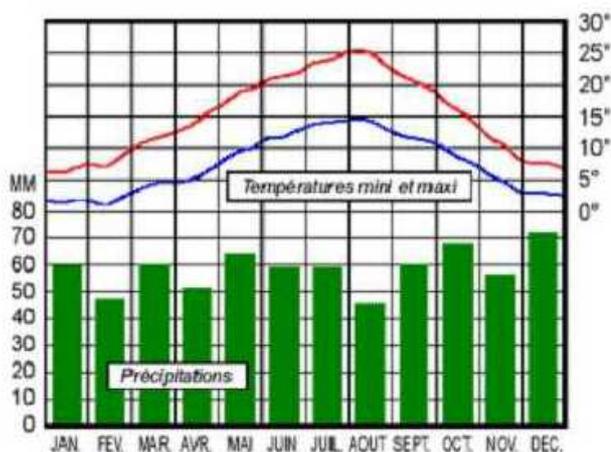
## II. Expérimentation sur le terrain d'Argenteuil - Contexte local

### 1. Contexte

La ville d'Argenteuil est implantée dans la partie Sud-Est du département du Val d'Oise. Argenteuil fait partie du tissu urbain de l'agglomération parisienne. Le territoire communal présente une superficie totale de 1 738 ha. Au sud de la commune est délimité par la Seine, au nord par la zone de carrières et la butte de Sannois (cf. figure 29). L'ouest et l'est de la commune ne présentent pas de limite franche. Le tissu urbain ainsi que les réseaux d'assainissement se prolongent sans discontinuité sur les communes voisines.

Les caractéristiques climatiques dominantes d'Argenteuil sont celles du Bassin Parisien (cf. figure 12), c'est-à-dire un climat de type océanique dégradé. L'influence océanique reste prépondérante, mais elle est altérée par l'éloignement du littoral qui lui donne une nuance continentale.

Les précipitations annuelles moyennes (Météo France, Le Bourget, 1949-1994) sont relativement faibles (610 mm). Les pluviographes exploités par la DEA (CG 93) fournissent des valeurs sensiblement plus fortes (664 mm en moyenne). Les valeurs annuelles subissent des variations importantes : sur la période 1977 - 2003, la moyenne est de 696 mm pour un maximum de 952 mm en 2001 et un minimum de 498 mm en 1996.



Source Météo France

Figure 12 : Moyennes des températures et des précipitations à Roissy entre 1971 et 2000

Ce sont les pluies de faible intensité qui bénéficient le plus aux aquifères. Le BRGM estime que l'infiltration annuelle représente entre 80 et 120 mm en Ile-de-France.

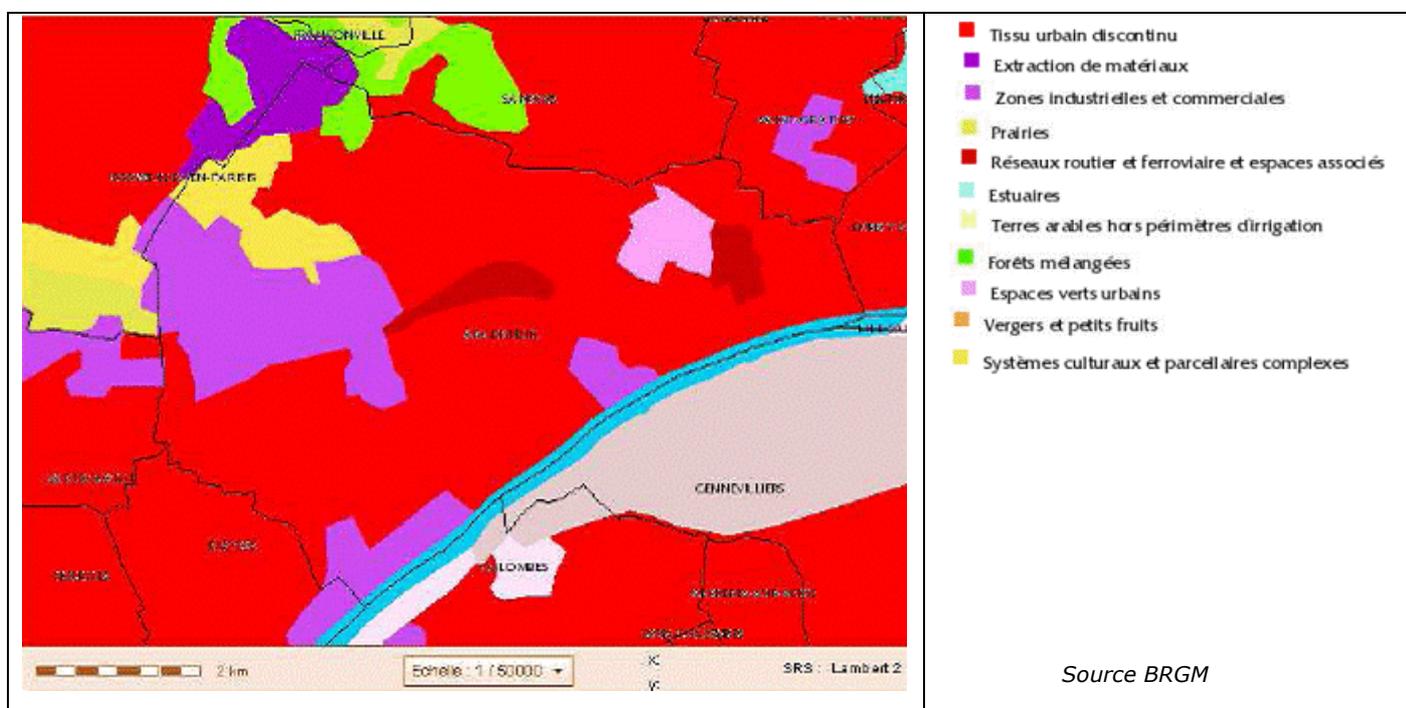
Au recensement de 1999, la population d'Argenteuil était de **93 961 habitants**. Après une phase de décroissance démographique inversée par rapport au développement général de la région parisienne, la population d'Argenteuil tend à se stabiliser autour de 95 000 habitants. La densité moyenne de la population est de 54 habitants/ha et la densité à l'espace urbain de 73 habitants/ha urbain.

La ville présente un paysage urbain très varié, témoignages des mouvements d'urbanisation successifs (tissu central ancien, cités jardins, développement le long des boulevards du XIX<sup>ème</sup> siècle, zone industrielle du début du siècle, tissu pavillonnaire ancien, immeubles collectifs des années 70...).

Le territoire communal d'Argenteuil est presque totalement urbanisé. L'espace urbain représente 88% des 1 738 ha de la commune au MOS (Mode d'Occupation du Sol) de 1999.

L'espace urbain se décompose principalement en (figure 13) :

- habitat : 52,5 %
- parcs, jardins, sport, vacant : 15,0 %
- activités : 12,7 %
- transports : 12,4 %
- équipements : 5,9 %
- autres : 1,5 %



**Figure 13 : Caractéristiques d'occupation des sols d'Argenteuil**

L'habitat individuel et continu bas représente 695,05 ha soit 45,6 % de l'espace urbain. L'habitat collectif continu et discontinu représente 89,89 ha soit 5,9 % de l'espace urbain.

Les établissements à caractère industriel sont principalement concentrés sur trois secteurs d'activités :

- la zone industrielle du Val d'Argent, en limite de Sartrouville,
- la zone industrielle Seinerie (Val Notre Dame), en bord de Seine,
- la zone industrielle Centre Ville, à proximité de la gare.

Hors services, 1 558 entreprises sont recensées dans le fichier de la CCI dont :

- 1 043 dans le secteur commercial, représentant 5 097 emplois,
- 262 dans le secteur BTP, représentant 1 924 emplois,
- 253 dans le secteur industriel, représentant 6 170 emplois.

## 2. Hydrographie

La commune d'Argenteuil est limitée au sud-est par la Seine. Le long du territoire communal, la Seine parcourt environ 5 400 mètres depuis l'Ile Saint-Denis jusqu'au pont de Bezons. Les eaux ruisselées sur l'ensemble du territoire communal d'Argenteuil possèdent la Seine ou les réseaux d'assainissement (unitaire) comme exutoire, que ce soit directement par les réseaux d'eaux pluviales du bord de Seine, ou par l'intermédiaire d'ouvrages, tels que les déversoirs d'orages. La Seine constitue l'exutoire principal des eaux sur-versées. Les eaux de ruissellement d'Argenteuil et de Bezons se déversent dans la Seine soit directement par les réseaux d'eaux pluviales du bord de Seine, soit par l'intermédiaire d'ouvrages, tels que les déversoirs d'orages ou les prises d'eaux usées.

### → Hydrologie

Les conditions hydrologiques de la Seine sont suivies par le Service Navigation et la DIREN Ile de France. Les niveaux de crues enregistrés à Chatou et à Suresnes depuis 1910 sont présentés dans le tableau 5.

Année	1910	1924	1955	1970	1978	1982	1983	1988	1995	1999
Niveau de crue mNGF à Chatou	27.74	27.28	27.03	25.87	25.7	26.09	25.23	25.52	25.23	25.4
Niveau de crue mNGF à Suresnes	30.91	30.29	29.9	28.83	28.65	29.16	28.32	28.55	28.21	28.38
Niveau de crue mNGF Pont de Colombes	28.67	28.17	27.87	26.74	26.57	26.99	26.14	26.41	26.11	26.28

Source :  
DIREN

**Tableau 5 : Niveaux des crues historiques**

A partir de ces données, les niveaux de crues estimés au Pont de Colombes, au droit du site d'étude, ont été calculés.

Une étude statistique menée par le Service Navigation de la Seine a permis de déterminer les niveaux de crues historiques (tableau 6).

Temps de retour	Niveau de crue en m NGF au Pont de Colombes
1 an	23.77
2 ans	23.85
3 ans	24.81
7 ans	26.06
10 ans	26.97
50 ans	27.85
100 ans	28.74

Source : SNS

**Tableau 6 : Crues historiques au Pont de Colombes**

### → Qualité des eaux

La qualité de la Seine est suivie par le service Navigation de la Seine. Les derniers enregistrements faits à Chatou en aval du site permettent d'apporter les éléments suivants sur la qualité des eaux de la Seine. Par temps sec, la qualité physico-chimique de la Seine au niveau d'Argenteuil et Bezons est médiocre : la qualité des eaux en nitrates est bonne mais elle est hors classe pour le phosphore.

La qualité des eaux de la Seine a également été suivie lors de la réalisation de l'Atlas du Val d'Oise (1998). Les résultats sont présentés sur la figure 14.

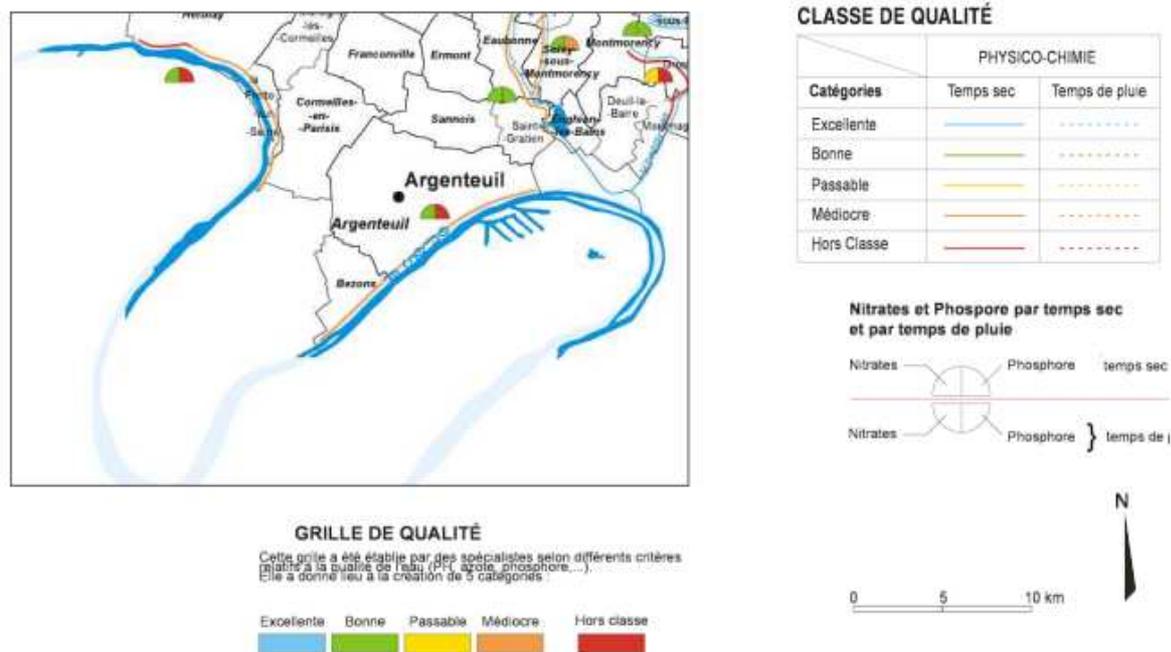


Figure 14 : Carte qualité des eaux de Seine à Argenteuil

➔Zones inondables

Argenteuil est située dans la boucle de Gennevilliers. Cette boucle a fait l'objet d'un Plan de Prévention des Risques d'Inondation (PPRI) de la Seine dressé en octobre 2001. Les Plus Hautes Eaux Connues (PHEC) correspondent à la crue de 1910. La cartographie des PHEC issue des études de la DIREN est présentée en figure 15.



Source BRGM

Figure 15 : Carte crue de la Seine à Argenteuil

Les cotes atteintes lors de la crue de 1910 sont de :

- 28,99 m NGF en limite d'Épinay-sur-Seine ;
- 28,70 m NGF au niveau de la rue Verte à Argenteuil ;
- 28,54 m NGF en limite de Bezons.

De plus, le Schéma Départemental de Prévention des Risques Naturels classe la commune d'Argenteuil avec un aléa élevé (figure 16) :

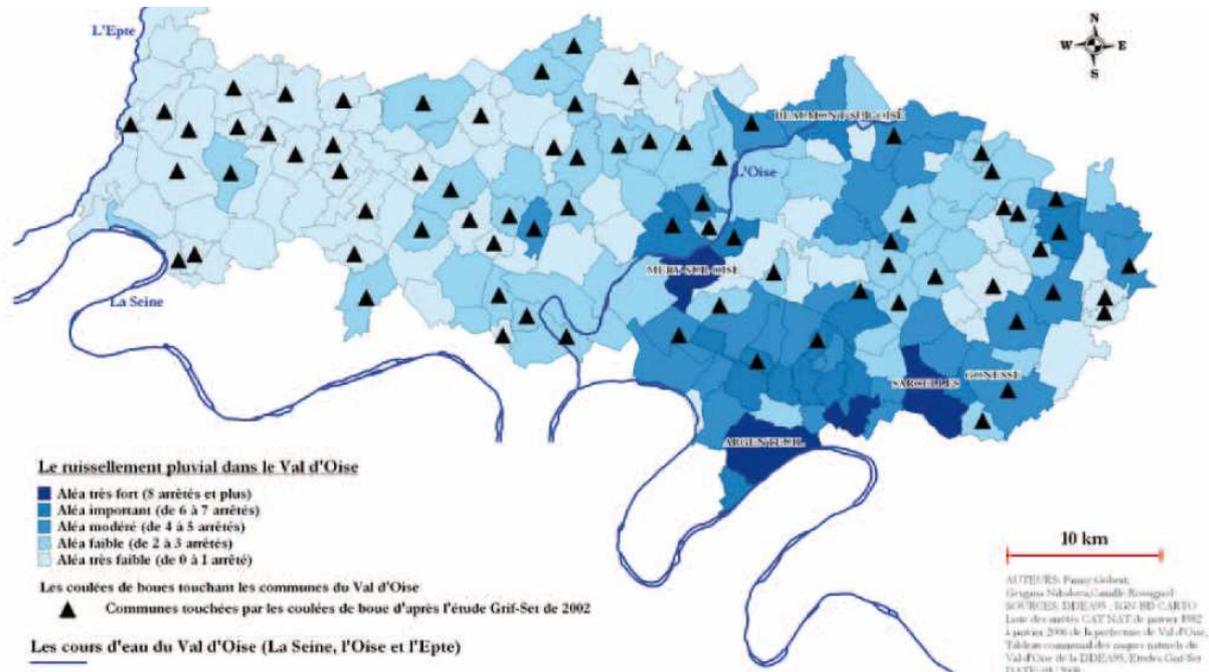


Figure 16 : Le ruissellement pluvial dans le Val d'Oise

Source DDE du 95

La représentation des informations sur cette carte est basée sur la Liste des arrêtés CAT NAT de janvier 1982 à janvier 2006 (Préfecture), et du Tableau communal des risques naturels du Val d'Oise (DDEA, devenu DDT en 2010). Le risque de ruissellement pluvial se traduit ici par le recensement par commune des arrêtés CAT NAT Inondation pluviale (mêmes sources d'informations que pour les arrêtés CAT NAT Inondation fluviale). Les niveaux de degré d'importance sont plus nombreux pour ce risque, car plus fréquent que celui des inondations fluviales. Les communes ont fait l'objet de plus d'arrêtés: «aléa très faible» (zéro à un arrêté), «aléa faible» (2 à 3 arrêtés), «aléa modéré» (4 à 5 arrêtés), «aléa important» (6 à 7 arrêtés), et «aléa très fort» (8 arrêtés ou plus).

Ces degrés d'importance sont également représentés en aplats de couleurs. Les coulées de boue (qui peuvent apparaître après ruissellement pluvial), connues grâce aux études Grif Set de 2001 et 2002, sont représentées en analyse thématique avec des figurés ponctuels.

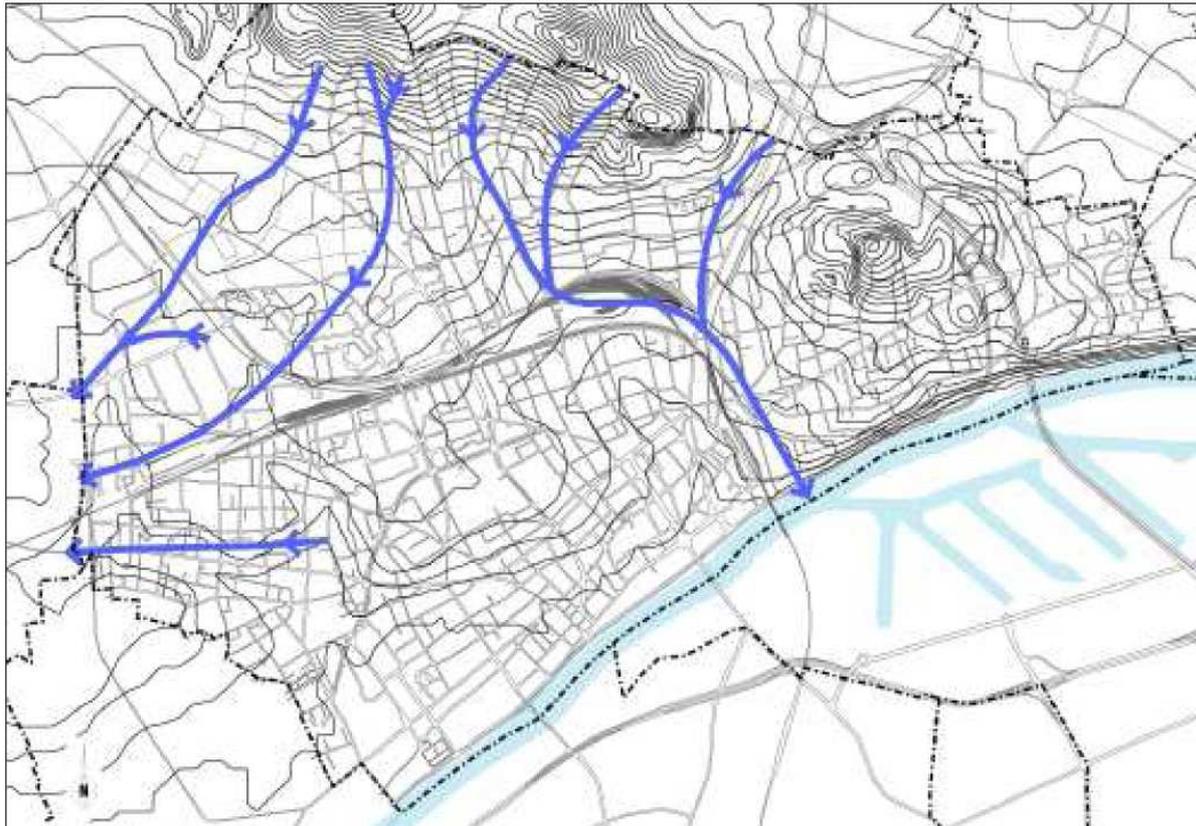
Toutefois le rapport de présentation du PLU d'Argenteuil fait état d'axes de ruissellement temporaire traversant le territoire. Ces ruissellements proviennent de la butte de Cormeilles et du vallon de Mazagran, empruntent la rue Marcelle Laget, l'avenue du Maréchal Joffre et le boulevard Jean Allemane, et se rejoignent au niveau des voies ferrées.

Les axes de ruissellement sont les lignes de plus fortes pentes, elles sont donc le lieu d'écoulement des eaux de pluie lors des phénomènes de ruissellement (figure 17).

Une première campagne de détection de ces axes a été faite dans les années 90 sur la base de la carte IGN au 1/25000.

En 2008, les services de la Préfecture se sont engagés dans un travail de terrain afin de repérer les axes pour que la précision des relevés soit de l'ordre de 5 mètres et donc utilisable dans les documents d'urbanisme :

- date de la visite sur Argenteuil : 29/05/2007
- date de la validation : 28/11/2007



Source  
Mairie  
d'Argenteuil

Source : Ville - DA / UR, rapport de présentation du PLU modifié en 2009

**Figure 17 : Axes du ruissellement pluvial à Argenteuil**

Ces ruissellements nécessiteraient d'être quantifiés et localisés précisément afin de pouvoir proposer des solutions pour :

- diminuer éventuellement la production de ces ruissellements sur le bassin versant amont
- améliorer si possible l'engouffrement dans le réseau unitaire des rues en amont de l'opération
- permettre l'évacuation des ces ruissellements en aval
- créer peut être des bassins de stockage-restitution en amont de l'opération ou en aval

### 3. Contexte des Plans de prévention des risques

La liste des arrêtés CAT NAT sur la commune est présentée ci-dessous (tableau 7).

Date	Évènement/incident	Précision évènement	CAT NAT demandé	CAT NAT obtenu
22/06/1983	Inondation	Crue	Oui	03/08/1983
05/05/1984	Inondation	Crue	Oui	16/07/1984
07/08/1989	Orages	(ND)	Oui	(ND)
01/01/1991	Mouvement tassements différentiels	Sécheresse	Oui	03/11/1997
25/05/1992	Inondation, coulées de boue	(ND)	Oui	21/08/1992
28/05/1992	Inondation, coulées de boue	(ND)	Oui	21/08/1992
31/05/1992	Inondation, coulées de boue	(ND)	Oui	21/08/1992
Mai et Juin 1992	Inondation, coulées de boue	(ND)	Oui	21/08/1992
19/07/1994	Inondation, coulées de boue	(ND)	Oui	20/04/1995
01/07/1995	Inondation, coulées de boue	(ND)	Oui	29/12/1995
05/08/1995	Inondation, coulées de boue	(ND)	Oui	12/03/1998
20/08/1996	Inondation, coulées de boue	(ND)	Oui	(ND)
01/02/1997	Mouvement tassements différentiels	(ND)	Oui	27/12/2000
05/08/1997	Inondation, coulées de boue	(ND)	Oui	12/03/1998
30/05/1999	Inondation, coulées de boue	(ND)	Oui	29/09/1999
26/07/2001	Inondation, coulées de boue	(ND)	Oui	21/12/2001
Été 2003	Mouvement tassements différentiels	(ND)	Oui	20/12/2005
Juillet 2001 à Aout 2005	Mouvement de terrain	Gypse	Oui	11/04/2006

Source : Tableau fait par les services de la préfecture et de la DDEA.

Source DDE du 95

**Tableau 7 : Références de catastrophe naturelles sur Argenteuil**

Le tableau 8 ci-dessous décrit les documents disponibles relatifs aux différents risques naturels auxquels a été ajouté un Plan de Prévention des Risques Mouvements de Terrain (PPRMT) par un arrêté préfectoral en date du 10 février 2010.

Document	présence	Prescription	Enquête publique	Approbation	Révision1	Date Révision2
PPR inondation fluviale	Oui	17/02/2000	Non signalé	26/06/2002		
PPR inondation pluviale	Non	-	-	-	-	-
PPR mouvements de terrain	Oui	04/03/2005				
PPR multirisques	Non	-	-	-	-	-
EX R 111.3 carrières souterraines	Oui	Non signalé	Non signalé	08/04/1987		
Atlas des axes de ruissèlement	Oui			1990	12/09/2007	
Etudes GRIF SET	Non	-	-	-	-	-
Atlas des Zones inondables	Oui			1999		
DCS	Oui			1999		
DICRIM	Oui			12/04/2000		
PLU/POS	Oui			18/09/2000	20/02/2006	
DDRM	Oui			2004		
Autre	Non	-	-	-	-	-

Source : Tableau de synthèse fait dans le cadre du mémoire de F.Gobert, G.Nikolova & C.Rossignol – Master TARAC M1 (première année - Juin 2007)

**Tableau 8 : Références des Plans de Prévention sur Argenteuil**

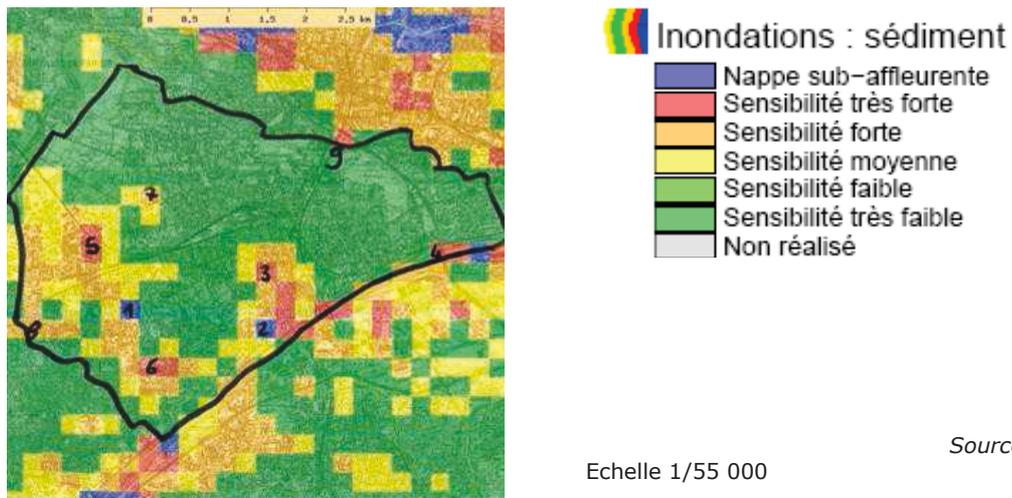
Source DDE du 95

En particulier sur le périmètre, il est recensé des :

- risques de glissement
- risques de dissolution du gypse
- risques liés aux remblais
- risques liés aux argiles
- risques liés aux carrières

Les zones à risques en géotechnique sont de plusieurs types :

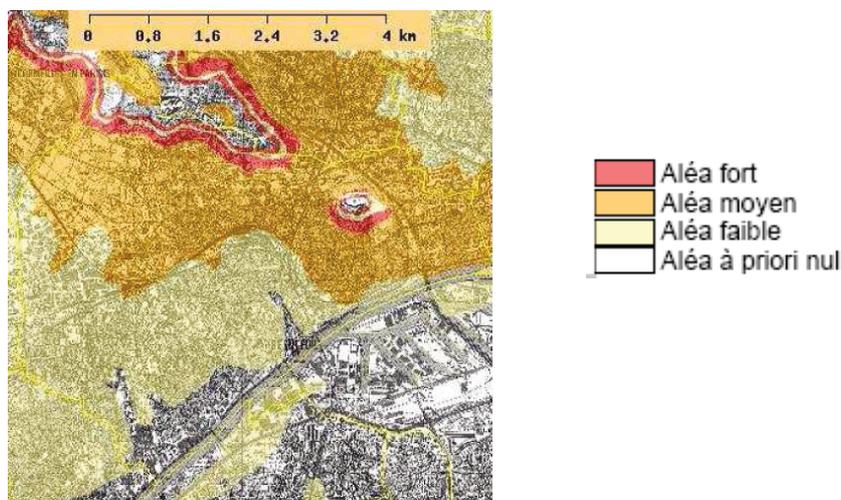
- les zones à risques d'infiltration des eaux de la nappe des sables de Beauchamp et du calcaire de Saint-Ouen, pour les réseaux situés à une cote inférieure à 30 m NGF environ,
- les zones d'influence des nappes (cf. figure 18),



**Figure 18 : Zones d'influence des nappes – Commune d'Argenteuil**

La carte présentée en figure 18 permet de constater que 3 zones sont concernées par les remontées de nappes : les axes d'écoulement au niveau du croissant ferré, les axes d'écoulement des eaux à l'ouest d'Argenteuil et les rives de Seine marquées par les remontées de la nappe alluviale.

- le risque des argiles gonflantes.



**Figure 19 : Risque de mouvements de terrain – Commune d'Argenteuil**

Comme l'indique la carte ci-dessus (figure 19) la présence d'argile est constatable aux abords des limites nord de la commune. Ceci est explicable car Argenteuil est positionné sur le flanc sud du pli synclinal de la Seine.

- les zones à risques de mouvement de terrains liés à l'instabilité des alluvions, des remblais et des sables de Beauchamp, à la forte solubilité des niveaux gypseux et à la présence d'anciennes carrières.

- Solubilité du gypse

La présence de masses de gypse est observée dans la partie nord de la commune (cf. figure 20). Ces formations sont incompatibles avec l'infiltration d'eaux pluviales.

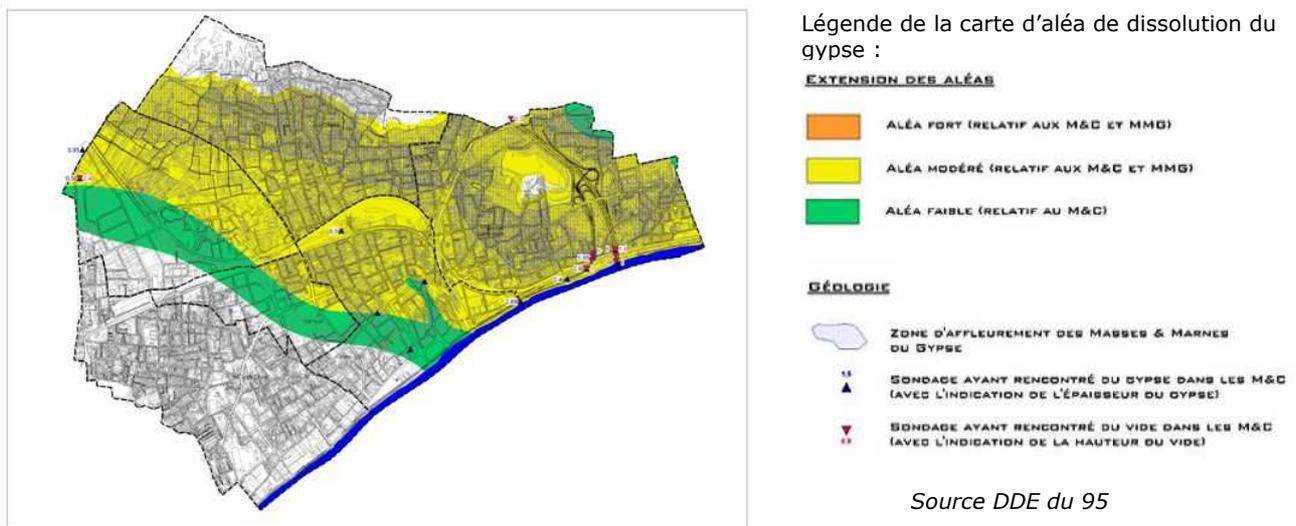


Figure 20 : Zones à risque de dissolution de gypse de la commune d'Argenteuil

- Glissement de terrain

Des glissements de terrains ont été observés au niveau de la butte d'Orgemont et au nord de la commune (cf. figure 21)

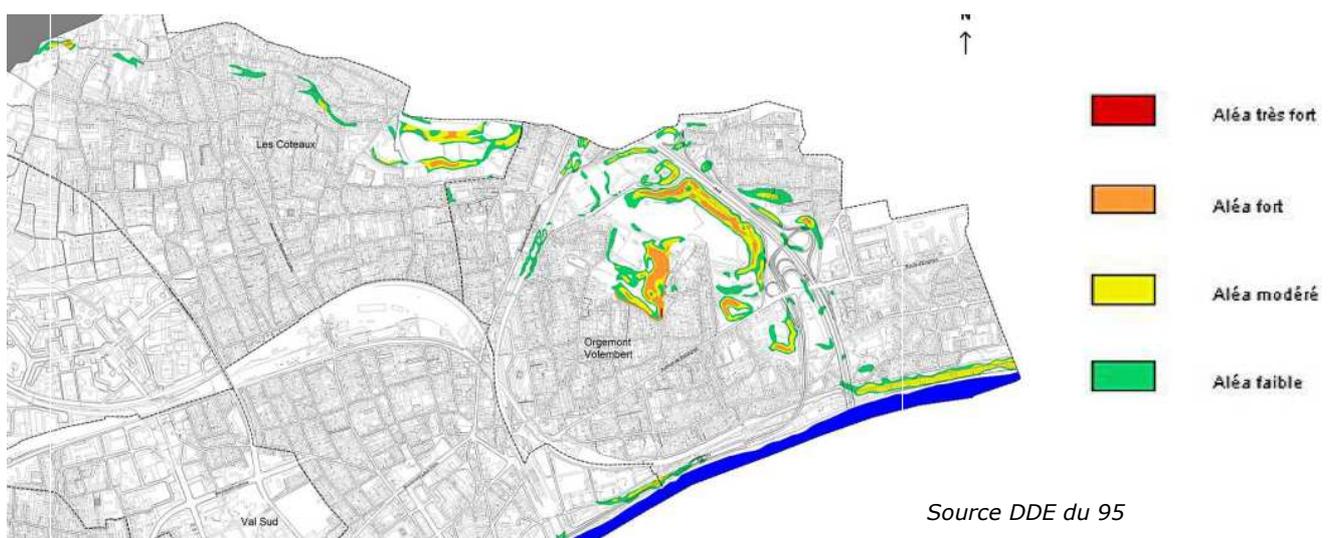


Figure 21 : Zones à risque de glissement de terrain de la commune d'Argenteuil

- Carrières

La présence d'anciennes carrières est constatée aux abords de la butte d'Orgemont proche de l'A15 (cf. figure 22).

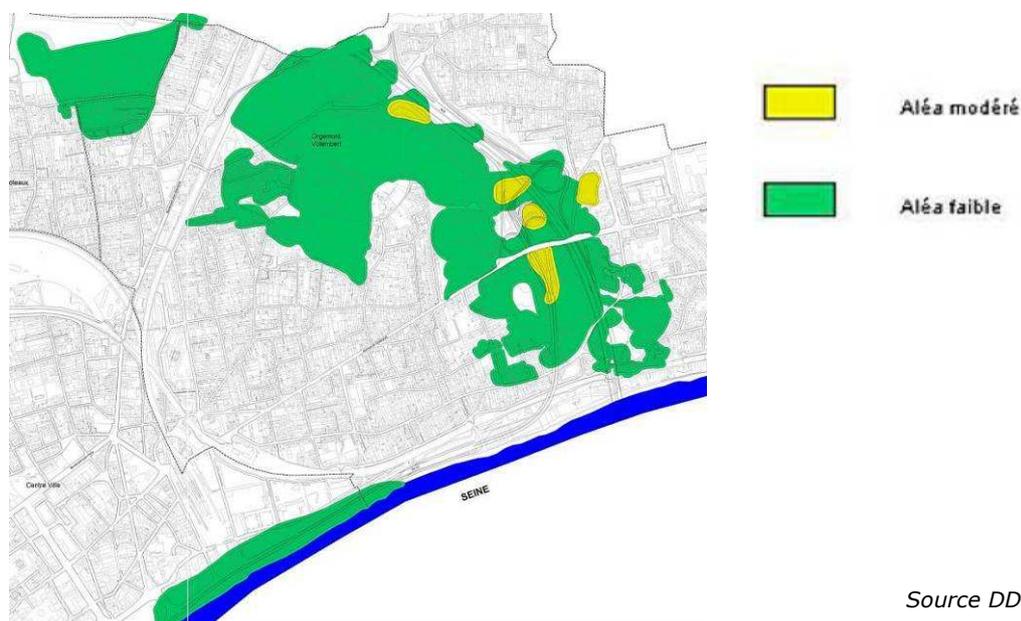


Source DDE du 95

Figure 22 : Zones à risque de Carrières de la commune d'Argenteuil

- Remblais

La présence de zones de remblais est constatée aux abords de la butte d'Orgemont proche de l'A15 (cf. figure 23).



Source DDE du 95

Figure 23 : Zones à risque de Remblais de la commune d'Argenteuil

Le PPRMT a pour synthèse la définition du zonage du risque de mouvement de terrain (cf. figure 24 et annexe 3).

## ARGENTEUIL: PPRMT NIVEAU DE RISQUE

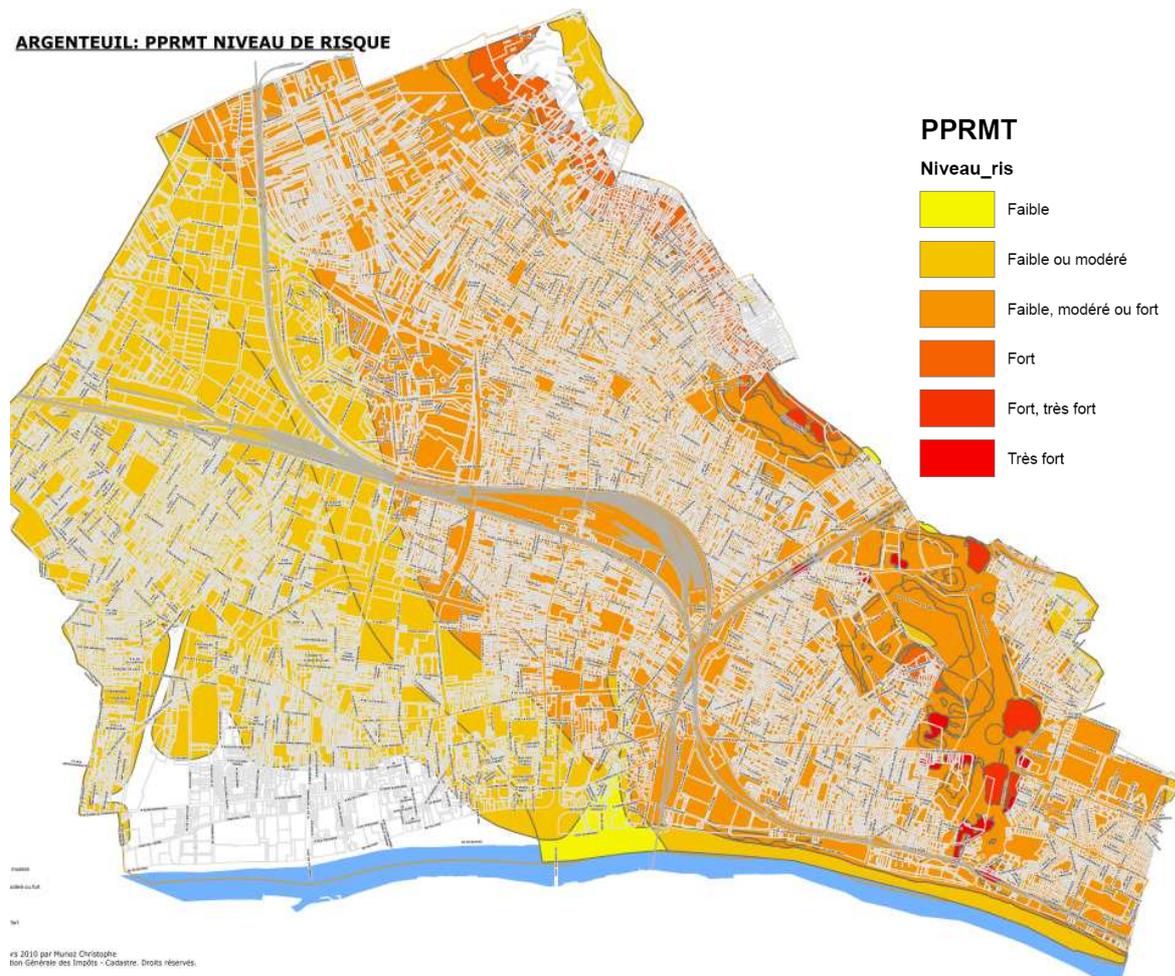


Figure 24 : Zonage du plan de prévention des mouvements de terrain

## 4. Réseaux collectifs d'assainissement

La ville d'Argenteuil est majoritairement assainie par un réseau de type unitaire. Seule la partie en bordure de Seine située entre la rue Henri Barbusse et la Seine est desservie par un réseau séparatif. Les réseaux communaux sont denses (190 km) et les secteurs les plus anciens remontent au XIX<sup>ème</sup> siècle.

Lors du schéma directeur d'assainissement réalisé en 2010 pour le compte de la communauté d'agglomération d'Argenteuil Bezons, il a été identifié 8 bassins versants (dont 6 localisés sur Argenteuil) (cf figure 25).

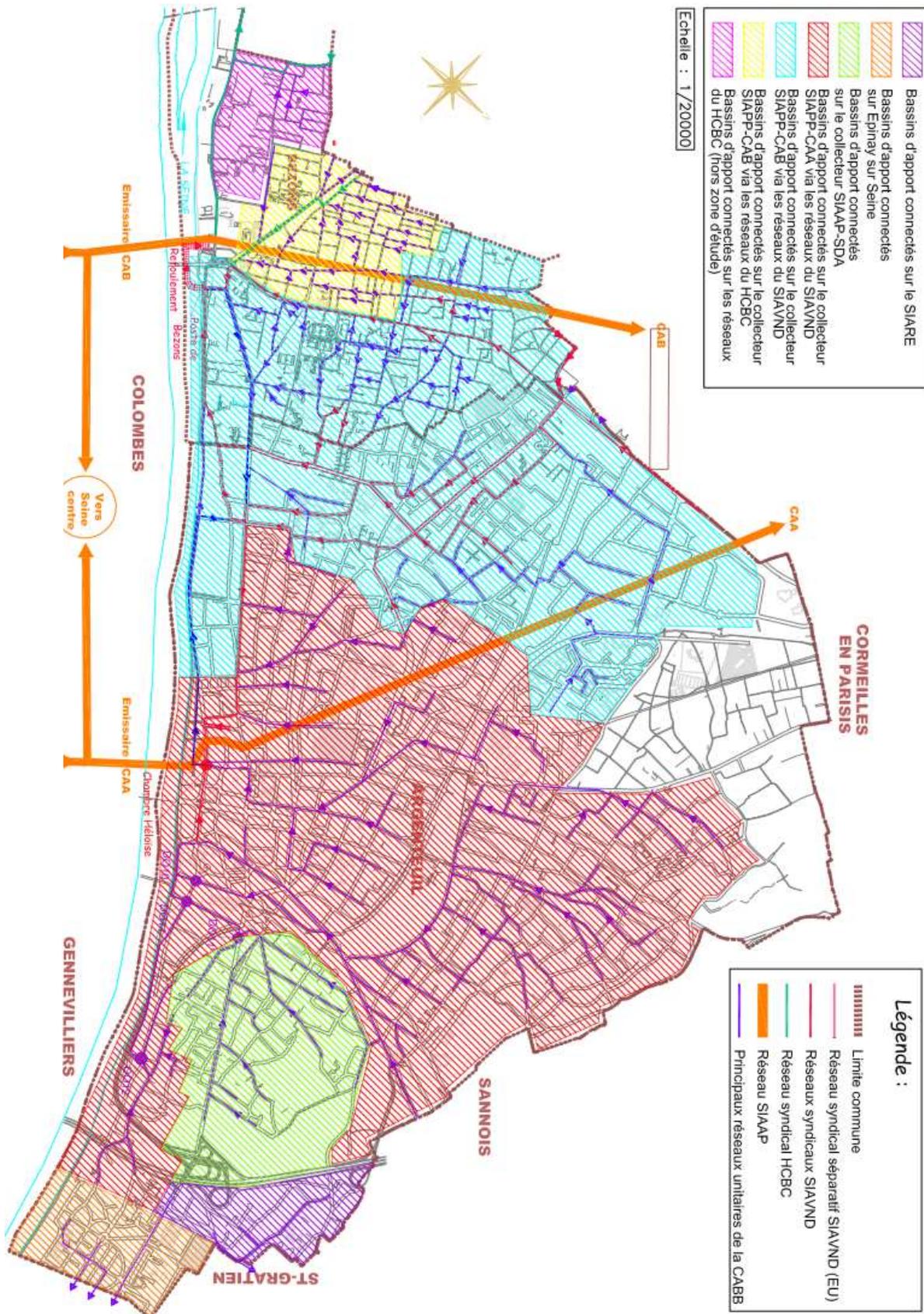


Figure 25 : Carte des bassins versant d'Argenteuil

Source Safège

## 5. Délimitation des sous-bassins versants

La topographie et la structure des réseaux d'assainissement ont permis de découper la Ville d'Argenteuil en 6 bassins versants, d'après le Schéma Directeur d'Assainissement de 1998 réalisé par Safège. A ces bassins versants communaux doivent être ajoutés les bassins d'apport d'autres communes drainés par le réseau syndical du SIAVND (Syndicat Intercommunal d'Assainissement du Val Notre-Dame). Ils sont au nombre de 6 et représentent une surface totale de 167 ha. Les bassins versants sont décrits par les valeurs suivantes :

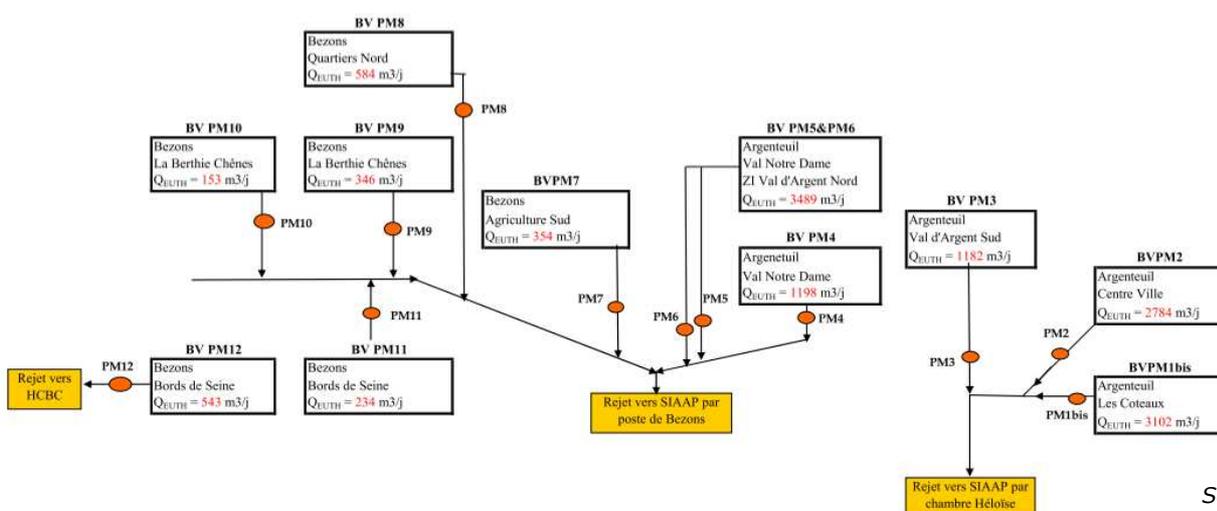
- la superficie,
- la pente,
- la plus grande longueur hydraulique,
- le coefficient d'imperméabilisation.

Le coefficient d'imperméabilisation de chaque bassin d'apport doit être approché avec le plus de précision possible. Pour cela la typologie de chaque bassin s'appuie sur six familles selon l'occupation du sol (tableau 9) :

Occupation du sol	Coefficient d'imperméabilisation
habitat de type pavillonnaire	50%
habitat de type collectif	60%
habitat de type mixte	50%
activités industrielles	70%
voirie	80%
espaces verts	10%

**Tableau 9 : Coefficient d'imperméabilisation utilisé**

Le principe de fonctionnement des bassins versants et leurs interactions est présenté en figure 26.



Source Safège

**Figure 26 : Schéma de fonctionnement des bassins versants**

## 6. Géologie et hydrogéologie

Le secteur d'Argenteuil se situe au pied du plateau du Parisien (figure 27), dans une zone profondément marquée par l'érosion fluvio-glaciaire en vallée de Seine. La couverture de terrains tertiaires a ainsi été déblayée selon un large couloir, le long de la vallée, entre les buttes témoins de Sartrouville et Suresnes.

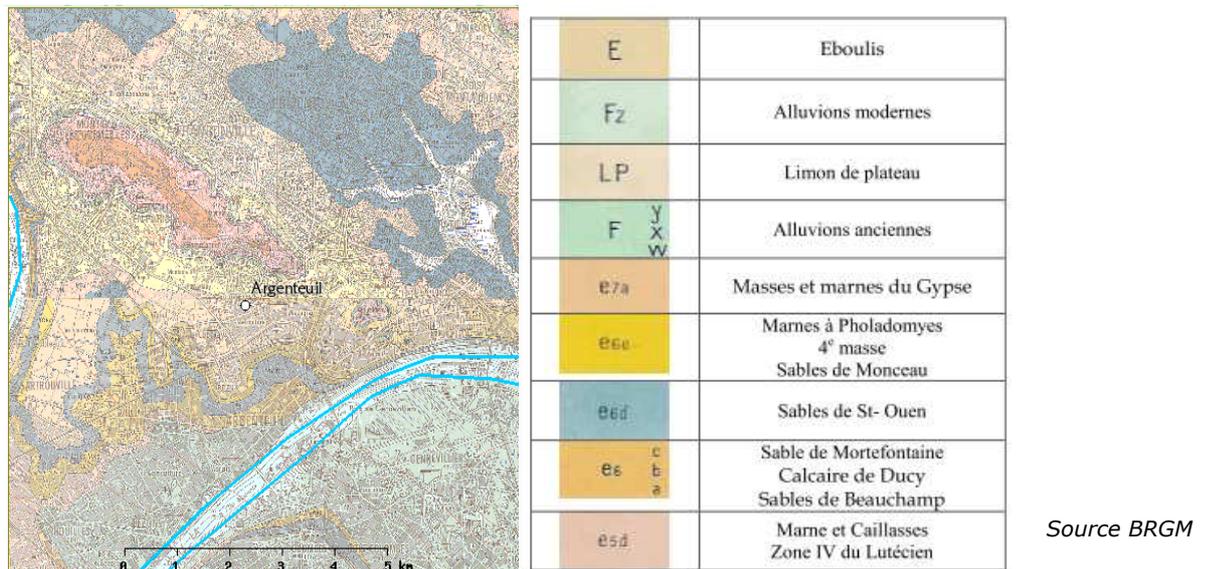


Figure 27 : Carte géologique d'Argenteuil

Le substratum calcaire (Marnes et Caillasses sur Calcaire grossier du Lutécien) est masqué, dans la zone d'Argenteuil, par un recouvrement important d'alluvions sablo-graveleuses de part et d'autre de la boucle de Gennevilliers. Cette formation superficielle s'est déposée dans l'incision au sein des sables de Beauchamp. En remontant le versant, une fois, le revers de plateau dépassé, et donc au-delà du front du Calcaire de Saint Ouen, les terrains présentent une autre nature conditionnée par la série de marnes infra-gypseuses et des Masses et Marnes du gypse. Ces terrains, pour le gypse qu'ils renferment, ont été exploités au siècle dernier dans la zone d'Orgemont-Le-Vaucelle.

Le bassin parisien a été le lieu de formations de couches sédimentaires, en général peu profondes, au rythme des à-coups de la subsidence et avec une variété considérable de faciès. Ceci a conduit à une succession de niveaux perméables et imperméables contenant ou abritant des aquifères particulièrement nombreux et souvent désignés par des noms de formations géologiques.

→ Du point de vue hydrogéologique, quatre types de nappes sont à distinguer à Argenteuil :

### ➤ les nappes perchées des plateaux et des buttes - témoin

Elles sont alimentées uniquement par la pluviométrie et leur niveau fluctue en fonction de cette dernière. Des « poches d'eau » sont repérées également en tête des Marnes du Gypse et dans les formations de versant. La porosité efficace est faible : ce type d'aquifère est très réactif et ses fluctuations sont directement

liées aux précipitations. Le débit de ces eaux souterraines est faible mais leur présence n'est pas sans conséquence sur la stabilité des versants.

➤ **La nappe alluviale de la Seine**

Elle est alimentée essentiellement par la Seine.

➤ **Les nappes de coteaux**

Elles sont alimentées uniquement par la pluviométrie et leur niveau fluctue en fonction de cette dernière.

➤ **L'aquifère multicouche des plaines et des vallées (pour les nappes plus profondes).**

Les structures de l'Eocène, monoclinales sont dotées d'un pendage très faible influencé par le synclinal de la Seine (fosse de Saint-Denis). Cette particularité détermine l'existence d'une nappe phréatique peu profonde dans la zone de plaine. Le niveau de nappe est essentiellement constaté dans les sables de Beauchamp à 30 m NGF.

Le réservoir de l'Eocène moyen, dont la puissance atteint 90 m et dont le mur est constitué par l'Argile plastique du Sparnacien, comporte en fait plusieurs niveaux peu perméables qui le subdivisent et en font un aquifère multicouche :

- l'écran médian des Sables de Beauchamp formé d'argile sableuse,
- les Marnes infra-gypseuses qui comportent plusieurs niveaux décimétriques d'argiles plastiques.

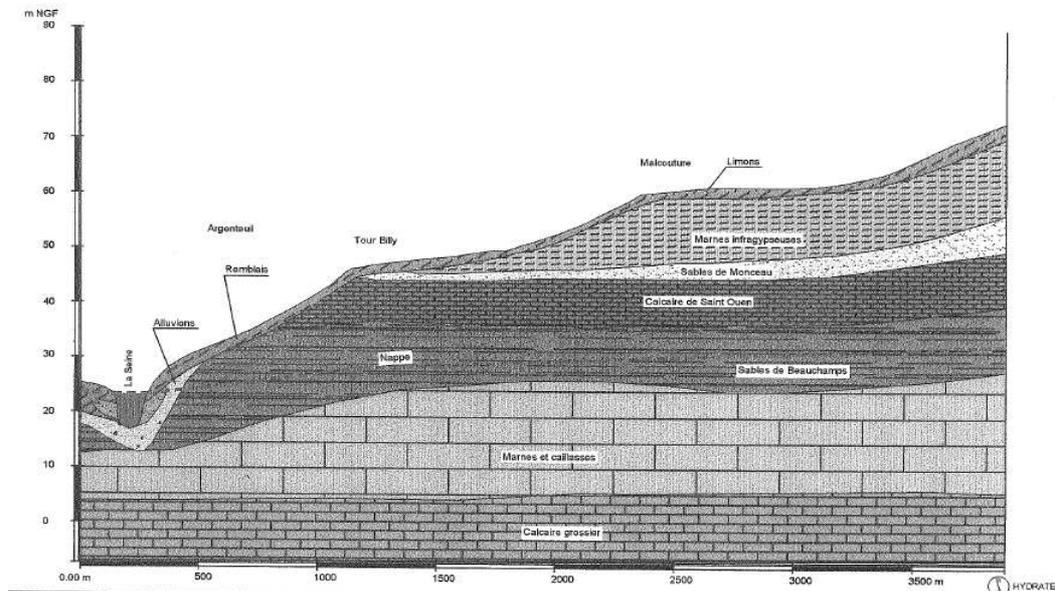
Ces couches déterminent l'existence de sous-aquifères qui communiquent par drainage avec, de bas en haut :

- **la nappe de l'Yprésien** qui baigne les terrains de l'Argile Plastique au Calcaire Grossier.
- **la nappe du Lutétien** contenue principalement dans le calcaire grossier du fond de la vallée et baigne essentiellement les Marnes et Caillasses. Le toit de cette nappe en charge est l'écran médian des Sables de Beauchamp.
- **la nappe du Saint-Ouen et des Sables de Beauchamp** : elle circule dans la partie inférieure des sables de Beauchamp (niveau, plus argileux que sableux), constitue le mur (ou base de la nappe), dans le calcaire de Saint-Ouen et les alluvions. On peut l'assimiler à une *nappe générale* soutenue par le réseau hydrographique (la Seine et la Marne) et les nappes profondes. Cette nappe n'est pas employée pour la consommation humaine.
- **la nappe portée par les Marnes infra-gypseuses** : elle se différencie de la nappe du Saint-Ouen en cas d'alimentation parasite locale ou lorsque la couverture existant au-dessus de cet horizon est suffisante (au moins 5 m). Cette nappe est perchée dans les « hautes vallées alluviales ».

En zone de vallée, la **nappe du calcaire de Saint-Ouen (et des Sables de Beauchamp) et la nappe du Lutétien** : ces deux nappes présentent un niveau d'équilibre comparable, en relation avec la cote de la Seine.

Il est d'autre part à remarquer que le secteur d'Argenteuil se situe, à l'échelle du bassin de Paris, dans une zone où les eaux de nappe dans le calcaire lutétien sont en général assez chargées en sulfates issus de la dissolution du gypse dans les niveaux supérieurs de marnes et caillasses.

La figure 28 représente la coupe hydrogéologique de l'aire d'étude.



Source Hydratec

**Figure 28 : Coupe hydrogéologique schématique de la ville d'Argenteuil**

Du point de vue de l'alimentation des nappes par les précipitations, la réactivité de l'aquifère est en raison inverse de sa porosité efficace.

→ Deux zones de nappes se distinguent :

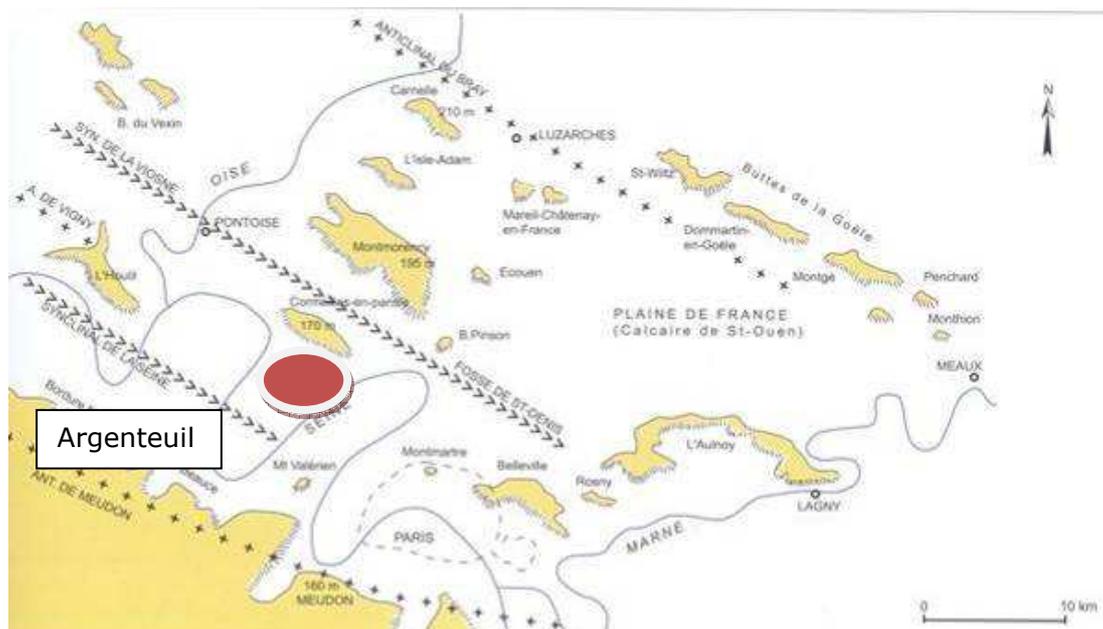
- Une zone large d'environ 500 m, contiguë à la Seine sera influencée par les crues de cette dernière.
- Les zones non influencées par les crues et dont le niveau d'eau sera lié à la pluviométrie régionale. L'aquifère de la nappe du Saint-Ouen est doté d'une forte porosité

Du point de vue géotechnique, au droit d'Argenteuil, des karsts, fontis et circulations préférentielles souterraines au travers de vides plus ou moins développés sont ainsi susceptibles d'être rencontrés dans la zone de vallée (contexte alluvions sur marnes et caillasses).

Des faciès de dissolutions peuvent aussi se rencontrer sur le plateau, dans le secteur de masses et marnes du gypse et marnes infra-gypseuses. Des faciès gypseux se rencontrent aussi dans le calcaire de Saint-Ouen (gypse autochtone ou issu de circulation per descensum des niveaux supérieurs).

Le dosage des sulfates, dans les eaux de percolation au travers des terrains et dans les eaux de nappe, pourrait être un critère pertinent pour chercher à apprécier le degré d'exposition des terrains aux risques d'instabilité par dissolution.

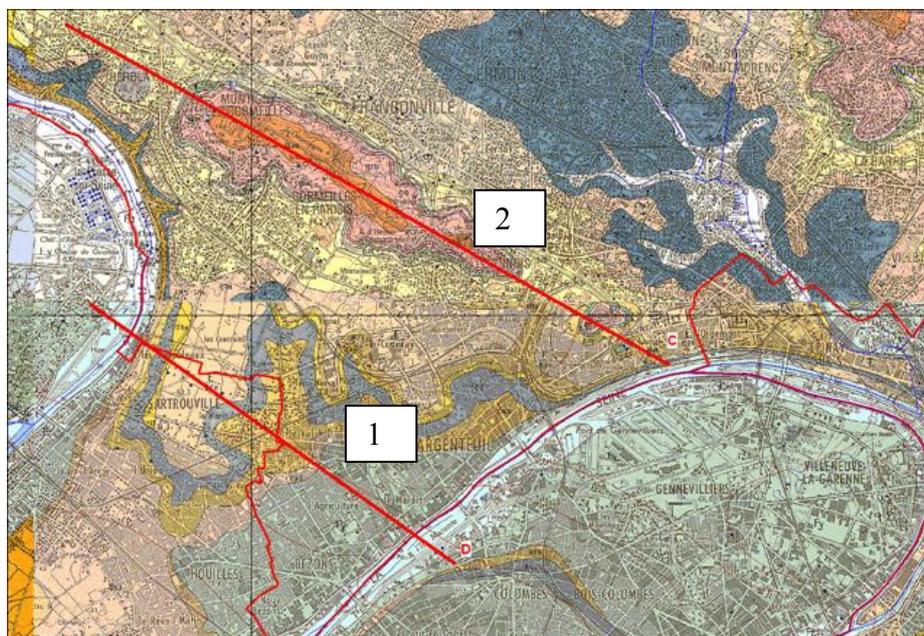
La figure 29 présente le contexte des buttes témoins de l'oligocène. Argenteuil est situé entre le synclinal de la Seine et celui de la Viosne.



Source : d'après le guide géologique régional Bassin de Paris BRGM

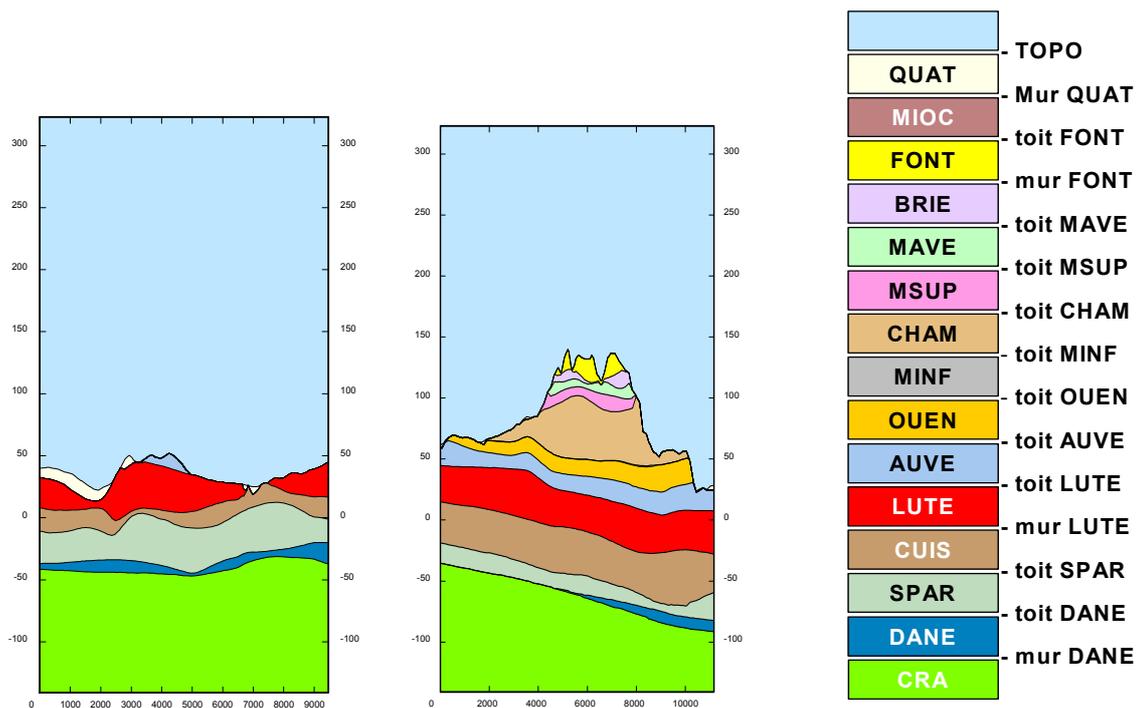
**Figure 29 : Buttes témoins oligocènes et grands axes structuraux au Nord de Paris**

Afin de mieux appréhender la géologie locale, il a été réalisé deux coupes géologique dans l'optique de pouvoir avoir un aperçu des épaisseurs de chaque formation géologique en jeu (figures 30 et 31).



Source DIREN

**Figure 30 : Localisation des coupes géologiques (la légende est consultable en annexe 4)**



Source DIREN

**Figure 31 : Coupe1 (à gauche), coupe 2 (au centre) et légende (à droite)**

Il est nécessaire de tenir compte des zones à présence de gypse superficiel (jaune) et qui comportent, en profondeur, des niveaux gypseux profonds du Lutétien. En ce qui concerne ces derniers, on peut craindre la présence de fontis qui permettraient le cheminement des eaux en profondeur et favoriseraient la dissolution des bancs gypseux.

Ces deux coupes géologiques permettent de mieux comprendre les aires d'alimentation des nappes que nous pouvons rencontrer.

Il sera par la suite évoqué les méthodes et outils mis en œuvre pour développer les axes d'ingénierie et évaluer l'infiltration sur différents sites à Argenteuil.

# III. Matériels et méthodes

La gestion des eaux pluviales urbaines est depuis plusieurs années au cœur du développement des collectivités. Elle présente de forts enjeux sociaux, économiques, écologiques et réglementaires.

A ce titre la Communauté d'Agglomération d'Argenteuil Bezons s'intéresse et investit dans une réelle stratégie, pour rendre les services proposés aux administrés modernes et attractifs.

L'objectif de cette présente étude est de définir et localiser les méthodes et outils permettant de mettre en œuvre un aménagement pratique et opérationnel (sécuritaire). Les investissements porteront sur l'infiltration des eaux pluviales tout en évitant un important apport d'eaux en aval des bassins versants.

Au travers de ce chapitre, l'initiation du projet (1) et l'état des lieux de la zone d'étude et des sites (2) pour la mise en œuvre seront abordés. Puis, la méthodologie opérationnelle et les techniques appliquées (3) seront exposées. Ensuite, les résultats (4) seront présentés.

Enfin, les interprétations (5) au cœur du projet seront détaillées pour mettre en œuvre les actions de développement durable d'un projet de qualité donnant les premières orientations de gestion des eaux à l'échelle locale.

## 1 Conduite du projet

La mise en œuvre de la démarche est une phase préliminaire qui permet de définir les actions à mener.

### 1.1 Lancement du projet

En 2009, la commune d'Argenteuil mettait en œuvre son plan de prévention des risques de mouvements de terrain et les services techniques de la commune se sont interrogés sur le cycle de l'eau des EP. Par ailleurs, la commune d'Argenteuil a constaté des désordres de dégradation d'infrastructures (routes, poteaux électriques, ...) au niveau des écoulements de sub-surface d'une partie du bassin versant des coteaux.

Cette présente étude a donc été initiée, entre autre, pour apporter des réponses sur les écoulements des eaux pluviales dans le sol.

Les ruissellements proviennent essentiellement de la butte de Cormeilles et du vallon de Mazagran. Ils empruntent la rue Marcelle Laget, l'avenue du Maréchal Joffre et le boulevard Jean Allemane, se rejoignent au niveau des voies ferrées (cf. figure 17).

Ce chapitre s'articulera d'abord sur l'étude de cas de la rue Laget, puis sur les investigations menés sur Argenteuil afin d'appréhender l'infiltration en milieu urbain.

Les investigations de terrain ont été menées afin d'avoir des éléments afin d'obtenir une vision caricaturée des écoulements de sub-surface.

## 1.2 Organisation et partenaires

Ce projet a été initié dans le cadre d'une étude de fin de cycle d'ingénieur au CNAM dans le domaine de l'infiltration des eaux pluviales en secteur urbain.

La Communauté d'Agglomération d'Argenteuil Bezons a souhaité être partenaire de cette démarche afin de définir la place de l'infiltration des eaux dans leurs documents d'urbanisme. Il convient aussi de tenir compte des contraintes de sites identifiées dans la partie II et notamment le PPRMT.

Dans le cadre de sa politique d'intervention, l'Agence de l'Eau Seine Normandie a été associée à la démarche afin de participer et acquérir des données techniques pour influencer sur la mise en œuvre de techniques alternatives (à la collecte des eaux pluviales).

Le Syndicat Interdépartemental d'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP) a été associé pour permettre de récupérer les données pluviométriques et le niveau de la Seine. Le SIAAP est l'organisme de collecte et traitement des eaux pluviales. En ce sens, le syndicat est initiateur de mesures pour limiter les apports aux réseaux d'assainissement.

Une fois cette phase mise en place, la stratégie globale a pu être définie.

## 1.3 Objectifs

Les acteurs identifiés, le cahier des charges de l'étude est établi.

Cette présente étude avait trois objectifs principaux en zone urbaine : bilans des mouvements d'eau dans le sol, carte d'infiltration des EP (zone propice à l'infiltration) et la gestion de l'eau dans les premiers centimètres du sol.

Les investigations permettront de mieux comprendre et d'appréhender les mécanismes en jeu.

Lors des interprétations, il ne sera pas abordé la notion qualitative des eaux. Par ailleurs certains mécanismes complexes seront négligés : interactions biologiques, chimiques, ... (cf. annexe 5 : paramètres pris en compte pour ce projet)

Les investigations menées doivent permettre de définir à l'échelle de la ville d'Argenteuil le cheminement des eaux pluviales :

- carte des cheminements préférentiels des eaux du sous sol
- carte d'infiltration des EP sur la commune d'Argenteuil
- nature des nappes en différents points
- interaction entre les eaux du sous sol : entre nappes, pluies, Seine, ...
- infiltration verticale ou horizontale en fonction des conditions de sol

A terme, ce projet a aussi pour but de définir un protocole d'intervention pour favoriser les prises de décisions du choix de l'infiltration, via la carte d'infiltrabilité des eaux pluviales.

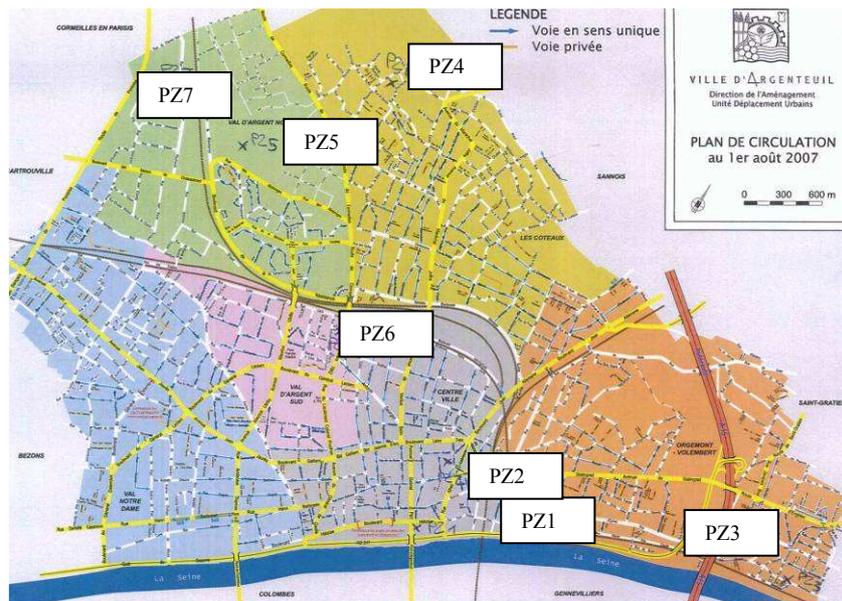
Comme pour tout projet, le préalable consiste à réaliser un état des lieux qui permet de mettre en évidence les besoins de l'étude, ainsi que les objectifs de l'étude qui viennent d'être définie dans ce présent chapitre.

Cette étape nécessite de recueillir l'ensemble des informations disponibles auprès des différents partenaires.

## 2 Etats des lieux et connaissances des sites expérimentaux

L'état des lieux est une étape indispensable qui permet d'identifier les contraintes.

Lors de la recherche de sites disponibles auprès de la mairie d'Argenteuil, il a été proposé des enceintes publiques protégées (clôturées et surveillées) pour des raisons de sécurité du matériel. Sept sites représentatifs ont été retenus dans des stades ou des écoles (cf. figure 32).



Source Mairie d'Argenteuil

Figure 32 : Carte de localisation des zones d'investigation

Des sondages et essais in situ ont été réalisés. Ils sont détaillés ci-dessous :

- sept sondages destructifs réalisés au taillant de 64 mm, notés PZ1 à PZ7 ont été descendus à 10 m de profondeur et équipés en tube crépiné de diamètre 52/60 mm sur toute la hauteur. (les schémas d'implantation et de situation sont présentés en annexe 6).
- sept essais Lefranc ont été répartis dans chacun des sondages aux cotes indiquées sur les fiches d'essais.
- Equipement des piézomètres de capteurs automatiques et suivi du niveau de nappe sur une période d'un mois.
- deux sondages destructifs ST3 et ST5 ont été menés jusqu'à 5 m de profondeur à la tarière mécanique de 64 mm.

Les résultats des sondages et essais, sont présentés en annexes 7 et 8 du présent rapport (coupes verticales).

*Remarques :*

- la description des terrains traversés et la position des interfaces comportent des imprécisions inhérentes à la méthode de forage destructif pour les sondages pressiométriques.

- l'épaisseur des différents horizons peut varier notablement entre les sondages. Dans le cas des terrains superficiels comme les remblais, les variations d'épaisseur et hétérogénéités sont très fréquentes.
- les profondeurs sont comptées à partir du niveau du terrain lors de la reconnaissance géotechnique. Néanmoins par l'application géoportail, site du BRGM, des sondages déjà réalisés ont permis d'estimer les côtes TN en m NGF.

## 2.1 Contexte géologique

D'après la carte géologique de Paris au 1/25 000<sup>ème</sup> (figure 33), les sondages effectués et les données collectées dans les archives du BRGM sur la commune d'Argenteuil, la géologie au droit de la ville est constituée, depuis la surface vers la profondeur, par :

- les masses et marnes du gypses (ludien),
- les sables de Monceau (Marinésien inférieur),
- les calcaires et marnes de Saint-Ouen (Marinésien inférieur). Il s'agit de marnes tendres, jaunes, blanches ou verdâtres et des marno-calcaires blancs, durs, parfois gréseux avec des intercalations sableuses, d'une puissance de 6 à 8 m,
- les sables et grès de Beauchamp (Auversien). Ce sont des sables gris à verdâtres, plus ou moins argileux, très fins, avec des inclusions de boules gréseuses très dures, parfois volumineuses, souvent creuses. Leur épaisseur varie de 15 à 20 m,
- les marnes et caillasses (Lutétien supérieur), sur environ 18 m d'épaisseur, représentées par des marnes grisâtres ou blanchâtres, avec des inclusions de caillasses calcaires,
- le calcaire grossier (Lutétien inférieur), d'une puissance variant de 15 à 20 m, constitué de calcaires et marno-calcaires de teinte grise, jaunâtre ou verdâtre, riches en débris coquillers,
- les sables et argiles (Yprésien), sur environ 50 m d'épaisseur, représentés par des sables fins plus ou moins argileux, riches en fossiles marins, dans lesquels s'intercalent des niveaux de lignite et d'argiles.

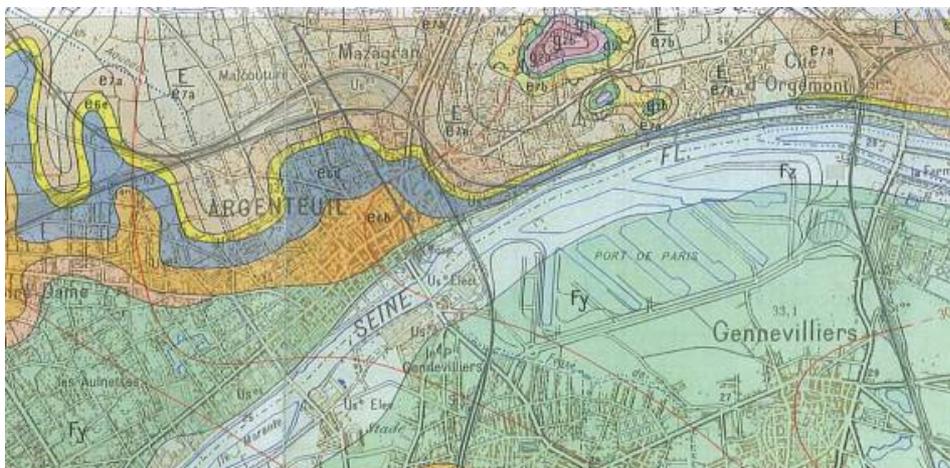
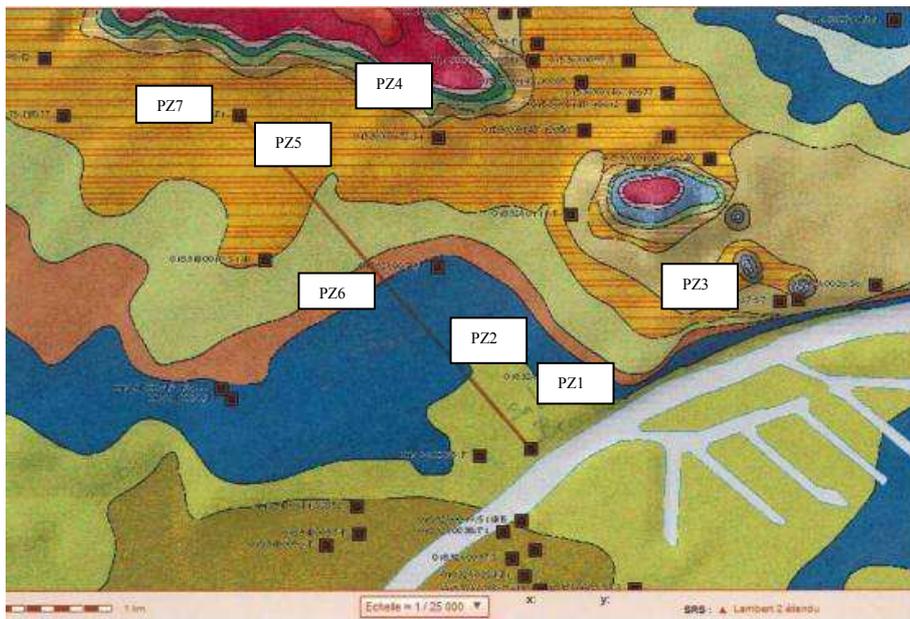


Figure 33 : Extrait de la Carte géologique de Paris – Secteur d'Argenteuil sud

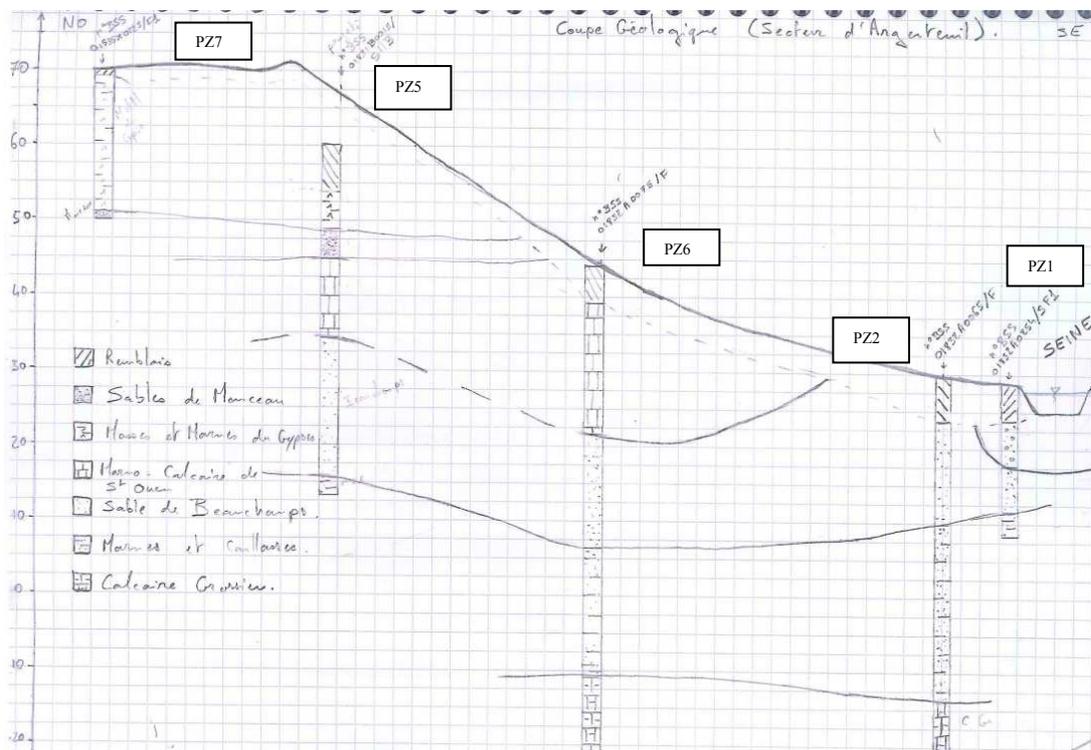
Une coupe géologique schématique montrant la succession des couches est présentée en figure 35.



Source BRGM

**Figure 34 : Extrait de la Carte géologique sur InfoTerre - Tracé de la coupe géologique**

La coupe géologique passe par les piézomètres 1, 2, 6, 5 et 7. (Cf. figures 34 et 35).



**Figure 35 : Coupe géologique d'Argenteuil passant pas les piézomètres 1, 2, 6, 5 et 7**

## 2.2 Contexte hydrogéologique régional

Les essais Lefranc indiquent une perméabilité d'environ  $1 \times 10^{-6}$  pour les sols rencontrés soit théoriquement une migration des eaux relativement faible. Néanmoins, les matrices rencontrées sont relativement hétérogènes ce qui favorise un passage préférentiel des eaux. Ceci peut expliquer d'importantes variations des mesures, pour certaines nappes.

Les mesures effectuées au droit des piézomètres (mis en place par Fondasol début mai 2009) montrent :

- au droit du PZ1 : variation de la nappe de 2,61 m,
- au droit du PZ2 : variation de la nappe de 0,22 m,
- au droit du PZ3 : variation de la nappe de 3,58 m,
- au droit du PZ5 : variation de la nappe de 1,90 m,
- au droit du PZ7 : variation de la nappe de 0,64 m.

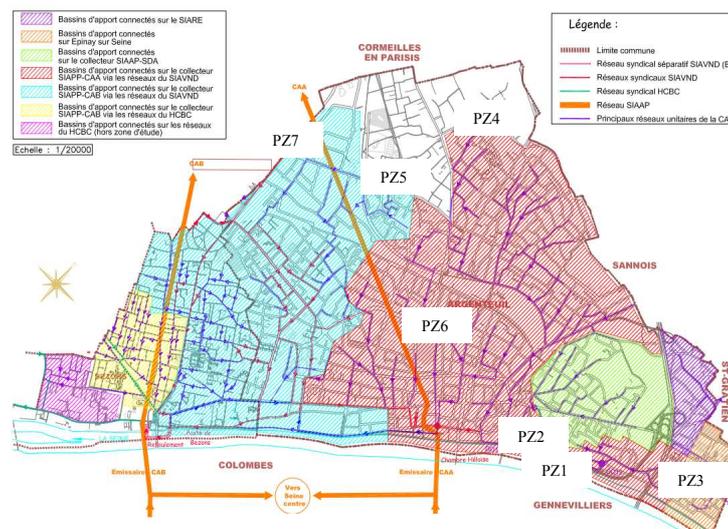
Du fait de leur lithologie ou de leur fracturation, toutes les formations éocènes décrites ci-dessus sont potentiellement aquifères. Ainsi, à l'échelle régionale, le seul niveau très peu perméable majeur susceptible de limiter verticalement l'aquifère correspond au niveau d'argile plastique, présent à la base de l'Yprésien. Dans ces formations, deux niveaux aquifères sont distingués :

- L'Eocène supérieur (marno-calcaires de Saint-Ouen et sables de Beauchamp), qui repose sur les couches peu perméables des Marnes et Caillasses du Lutétien. Les eaux de cette nappe sont souvent séléniteuses (dissolution des amas de gypse du Saint-Ouen et du Beauchamp). La transmissivité moyenne de cet aquifère superficiel est comprise entre  $10^{-4}$  et  $10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s.
- L'Eocène inférieur et moyen (calcaire grossier du Lutétien et sables de l'Yprésien). C'est un aquifère puissant et perméable (transmissivité moyenne de l'ordre de  $10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s).

Cette distinction entre les deux systèmes aquifères Eocène supérieur et Eocène inférieur et moyen est toutefois assez schématique. L'existence d'une succession de terrains de caractéristiques hydrauliques différentes sans écran suffisamment imperméable montre qu'il s'agit d'un système hydraulique multicouche complexe, et que les communications entre les deux réservoirs existent. Ainsi, lors d'un pompage dans la nappe de l'Eocène inférieur, les niveaux de l'Eocène supérieur baissent.

## 2.3 Définition des bassins versants

Les résultats obtenus doivent être interprétés en fonction des bassins versants.



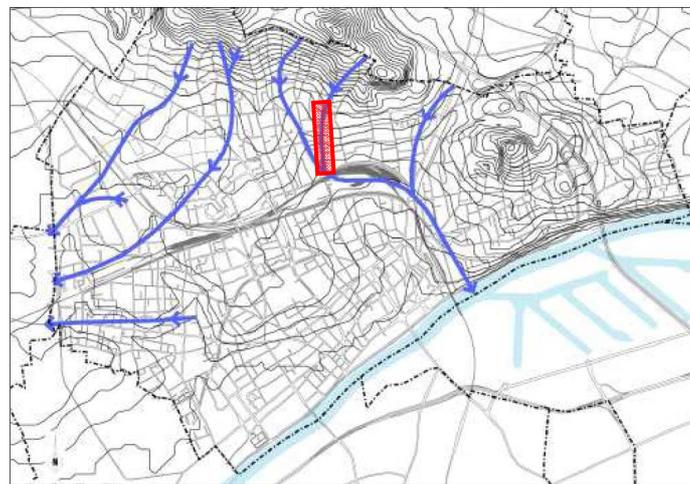
**Figure 36 : Carte des bassins versants de la communauté d'agglomération Argenteuil Bezons et implantation des PZ**

Compte tenu des moyens mis en œuvre (cf. figure 36), 3 bassins versants ont pu être investigués.

Ces bassins versants ont été essentiellement ciblés en fonction des axes d'écoulement identifiés figure 17 et de la zone d'influence des nappes (figure 18).

## 2.4 Etude de cas de la rue Laget à Argenteuil

La rue Laget se situe à Argenteuil sur les coteaux, au niveau du BV du PZ6 (cf figure 37). Suite à la réhabilitation du réseau d'assainissement de la rue en 2006, il a été constaté de nombreux désordres : dégradation de la voirie et des poteaux en bois (EDF) (figures 38 et 39).



Source  
Mairie  
d'Argenteuil

**Figure 37 : Localisation de la rue Laget - Axes du ruissellement pluvial à Argenteuil**

Ces phénomènes sont explicables par le fait que les sources n'ont plus été drainées par le réseau, devenu étanche suite à sa réhabilitation. Ces eaux ont trouvées un nouveau cheminement en dégradant les infrastructures.



**Figure 38 : Exemple de traitement des poteaux électriques pour éviter leur dégradation**



**Figure 39 : Phénomène de déformation de la chaussée en fonction de l'influence de la nappe**

La commune a mis en œuvre une solution curative de traitement des poteaux pour palier à ces désordres, mais cette solution n'est pas satisfaisante. Il est compliqué de trouver un compromis pour permettre aux ruissellements (de surface ou de sub surface) de trouver un exutoire non préjudiciable en secteur urbain.

En ayant les données en amont, il aurait été plus facile de gérer les sources en secteur urbanisé.

Ainsi, se pose la question du cheminement de l'eau dans le sol. Lorsque l'eau ne peut plus être stockée (en profondeur ou en surface), le sol est dit saturé et l'eau doit s'évacuer via des mécanismes physiques. Ceci est constatable dans les réseaux d'assainissement via les ECPP (Eaux Claires Parasites Permanentes), visibles lors de périodes de mesures (réalisées lors des Schémas Directeurs d'Assainissement (SDA)).

*Qu'en est-il des variations de stocks des eaux de nappe en secteur unitaire car ces eaux ne peuvent pas être orientées vers un réseau d'eau pluviale ?*

Il est donc indispensable de connaître la localisation des nappes et d'envisager de mettre en œuvre des drains afin de maîtriser (vers un exutoire) ces eaux qui peuvent être néfastes pour le bâti existant.

Ces eaux peuvent, également, être acheminées et évacuées par les réseaux d'eaux usées. Toutefois, cette solution est en contradiction avec l'objectif initial d'un SDA (réduire les volumes d'eaux claires dans les réseaux).

Le cheminement de l'eau suit généralement un drain (remaniement du sol, indice des vides souvent plus important, malgré le compactage).

## **Le réseau draine des sources qui seraient de petites nappes perchées.**

Cet exemple montre le rôle utile du réseau pour assainir et évacuer les eaux infiltrées.

Ce cas amène la question suivante : « Quel cheminement pour l'eau de pluie infiltrée ? ».

A cette problématique, trois réponses se présentent :

- imperméabilisation pour éviter toute infiltration,
- drainage par réseau d'assainissement afin de maîtriser les flux (prévoir des drains en phase travaux),
- écoulement de sub-surface pour trouver un exutoire au niveau d'un réseau hydrologique superficiel ou souterrain par recharge de nappe (infiltration verticale).

## **2.5 Sites pour la mise en œuvre de piézomètres**

La mise en œuvre des 7 piézomètres sur Argenteuil est le produit d'une réflexion provenant d'une *définition* des bassins versants, afin d'avoir un panel représentatif sur les bassins versant les plus pertinents.

Les surfaces actives participatives à l'évolution du niveau des nappes, n'ont pu être définies malgré des notions sur l'imperméabilisation des sols, les profils topographiques, la structure et nature des couches géologiques, ...

Afin de mieux comprendre les mécanismes en jeu et les chemins préférentiels des eaux, il a été proposé de suivre l'évolution de nappes en 7 points.

Les figures 40 et 41 mettent en exergue les conditions de pose du PZ5.



**Figure 40 : Photo de relevé des mesures piézométriques**

Initialement, il a été envisagé deux méthodes pour cibler les zones à préconiser pour la mise en œuvre des piézomètres :

- Les sondages géotechniques ont été exploités sur l'ensemble de la ville pour estimer la profondeur de la première nappe rencontrée. Cette méthode présente des inconvénients issus de l'exploitation des mesures ponctuelles. Elle est limitée car les données ne tiennent pas compte des conditions climatiques (pluies) et saisonnières, du niveau de la Seine, ...
- La carte des zones d'influence des nappes (figure 18) et les axes de ruissellement (figure 17).



Figure 41 : Environnement du piézomètre 5

## 2.6 Zones d'infiltration

D'une manière générale, la détermination expérimentale de la macroporosité doit distinguer les macropores actifs sur le plan des écoulements (ce sont les macropores connectés) de ceux qui ne le sont pas. Des traceurs chimiques peuvent être utilisés pour mettre en évidence les cheminements préférentiels de l'eau en fonction des profils pédologiques. Cette méthode, essentiellement qualitative, permet de mettre en évidence les cheminements de l'eau au sein du sol et constitue une bonne approche à l'échelle locale. Il n'en reste pas moins qu'il est difficile de déterminer quantitativement la dimension des macropores et leur influence sur l'écoulement de l'eau dans le sol par cette approche.

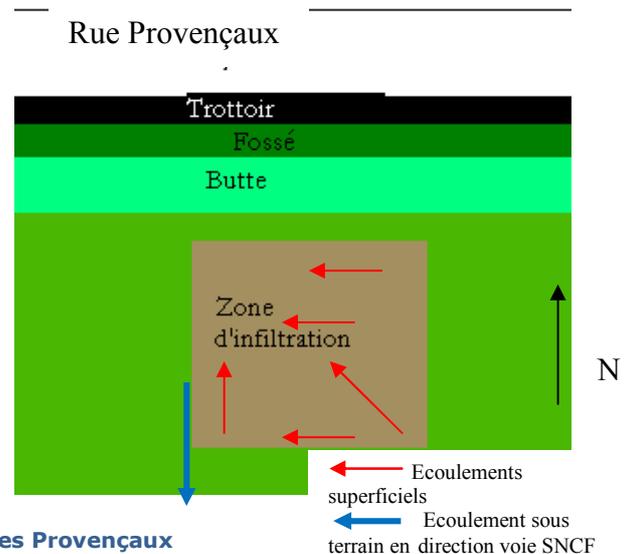
L'étude a été réalisée dans des sols très remaniés. Ceci est explicable par le fait qu'en secteur fortement urbanisé, les terrains vierges sont marqués par un contexte de sol hétérogène (tendances poubellien).

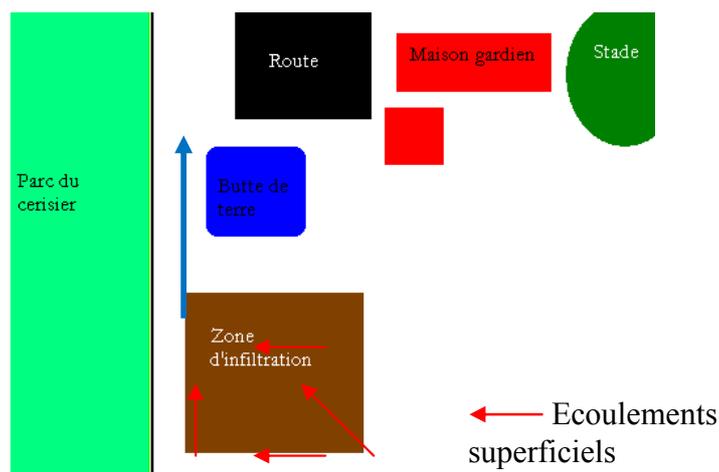
Les figures 42 et 43 présentent les zones d'investigation des zones d'infiltration. Deux sites ont été retenus :

- Rue des Provençaux (sur Orgemont) qui permet de constater la migration du traceur sur un terrain remanié. Le terrain expérimenté est proche du PZ3.
- Parc du Cerisier (sur la Val d'Argent Nord) qui permet de constater la migration du traceur en secteur urbain remanié. Le terrain expérimenté est proche du PZ5.



Figures 42 : Zone d'infiltration rue des Provençaux





Figures 43 : Zone d'infiltration parc du cerisier (proche terrain de rugby)

Une fois les besoins clairement identifiés et les objectifs fixés, la déclinaison opérationnelle passe par la mise en œuvre du plan d'action, la mobilisation des moyens adaptés et du suivi des actions.

### 3 Moyens et matériel

#### 3.1 Sites pour la mise en œuvre de piézomètres

##### 3.1.1 Principe de la méthode

Le niveau piézométrique est l'altitude ou la profondeur par rapport à la surface du sol de l'interface entre la zone saturée et la zone non saturée dans un sol.

Dans cette étude de cas, les niveaux piézométriques vont être corrélés entre les différents piézomètres, les pluies et le niveau de la Seine. Ces interprétations vont permettre de mieux appréhender la zone d'étude et les interactions possibles entre nappe, pluie et fleuve. Les résultats permettront d'identifier les cheminements préférentiels des eaux.

La mesure du niveau piézométrique prend toute son importance lorsque des ouvrages donnent des signes de fatigue liés au gonflement et retrait des sols argileux.

##### 3.1.2 Mode opératoire

Plusieurs types de mesures se présentent : tout d'abord les piézomètres « ouverts » sont de simples tubes, enfoncés verticalement, dont on relève le niveau d'eau par la longueur d'un poids (ou un contacteur électrique) au bout d'un fil.

Afin de constater la réactivité des nappes de sub-surface en fonction des pluies, il a été mis en place 7 piézomètres « ouverts » sur l'ensemble de la ville. Ceci a permis d'obtenir les temps de réaction de la nappe en fonction de l'intensité et de la durée de la pluie (figure 44).

Ces piézomètres sont équipés d'enregistreurs (15 m de profondeur maximum) avec un pas de temps d'enregistrement d'une minute ce qui a permis de vérifier la réactivité des nappes en fonction de la pluviométrie.

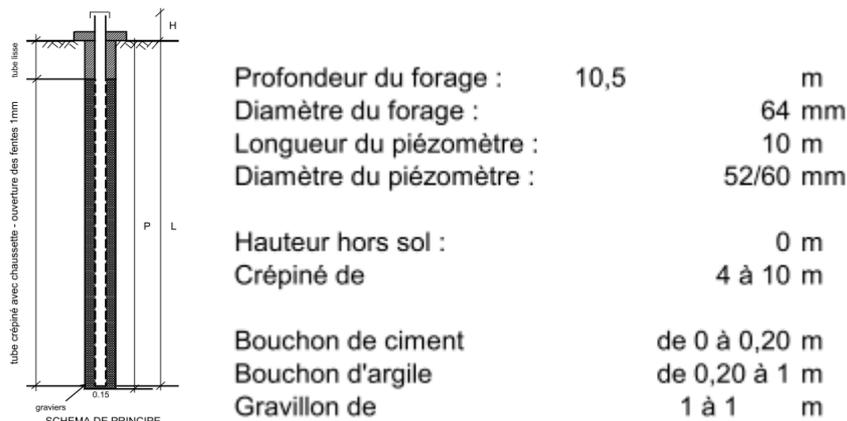


Figure 44 : Schéma de principe de la mise en œuvre d'un piézomètre

Des photos de pose de piézomètre sont observables en annexe 2.

Les mesures ont été réalisées entre le 14 mai et 19 juin 2009. Tous les graphiques mettent en exergue l'évolution des niveaux.

### 3.1.3 Limites de mesures

La principale limite de ce mode opératoire consiste en la difficulté de définir la surface active contributive à l'alimentation de la nappe. Beaucoup de paramètres ne sont pas totalement maîtrisés [ruissellement, surface active/contributive, qualité des sols (perméabilité, granularité, teneur en eau initiale, chemin préférentiel, ...)].

Les résultats obtenus ne permettent pas de définir la lame d'eau de la nappe et la surface. Ceci permettrait de raisonner en volume. La variation de ce volume serait croisée avec la pluviométrie, ce qui permettrait d'avoir une surface active.

Une modélisation hydrologique permettrait de localiser les surfaces d'apport. Le matériel utilisé a juste permis de donner un niveau de nappe et son évolution à travers le temps.

La modélisation serait définie en tenant compte de la topographie, du coefficient d'imperméabilisation, la pédologie fine pour avoir un aperçu de l'impact du ruissellement, la nature et l'état des sols, état des nappes, ...

**Néanmoins ces investigations permettent d'avoir une idée d'ensemble pour estimer le niveau où les nappes sont affectées, la réactivité des nappes par rapport aux eaux pluviales et à la Seine.**

Les mesures sont ponctuelles, ce qui ne permet pas de prendre du recul et de faire une interprétation tranchée et précise sur les chemins préférentiels.

## 3.2 Zones d'infiltration

### 3.2.1 Principe de la méthode

L'objectif d'une telle étude est de définir le mode d'écoulement en sub-surface - afin de définir si les eaux de pluie sur un site donné sont concernées par une infiltration verticale ou un écoulement horizontal hypodermique.

Par ailleurs cette méthode devrait permettre de constater ou non si les premiers centimètres du sol permettent de stocker les eaux pluviales.

Le colorant utilisé, pour les investigations, est la fluorescéine, produit industriel dont la substance chimique active est l'uranine. Ce colorant est fluorescent, c'est-à-dire que lorsqu'il reçoit une lumière de longueur d'onde déterminée, dite lumière d'excitation, il ré-émet une lumière dans une longueur d'onde différente, dite lumière d'émission ; l'uranine ré-émet une lumière verte de fluorescence. L'intérêt de ces colorants est la très faible teneur à laquelle ils peuvent être détectés à l'œil nu (0,01 mg/l).

Ainsi, il a été mis en place deux zones d'infiltration de 10 m x 10 m (avec peu de dénivellation topographique pour limiter le ruissellement de surface, afin de favoriser l'infiltration sans contrainte amont. Le principe méthodologique est basé sur l'adsorption de colorant (fluorescéine) sur les particules de sol en présence. Les résultats seront commentés en fonction des volumes mis sur le terrain (arrosage artificiel + pluies) et de la présence en colorant (et sa profondeur).

### 3.2.2 Mode opératoire

Le mode opératoire préconise une suppression des végétaux sur la zone d'essai par décapage mécanique pour éviter une fixation du colorant par les racines, afin de limiter l'impact de végétaux dans la migration du marqueur en profondeur (figure 45).



**Figure 45 : Infiltration du colorant sur le site des Provençaux (PZ3)**

Il a été réalisé un suivi sur 4 semaines (du 15 mai au 10 juin) avec mise en œuvre de colorant sur les deux sites. Puis, au moyen d'un terrassement mécanique (pelle) de la zone d'étude, les particules colorées ont été recherchées.

Chaque site d'infiltration de 10 m x 10 m aura absorbé 200 g de fluorescéine. Il n'a pas été fait de calcul de concentration pour définir la dilution. La fluorescéine a été répartie sur les zones d'infiltration par les camions de la régie d'assainissement (figure 46). Il a été dilué 200 g dans 3 000 litres d'eau répartis sur les zones le 15 mai. Puis, il a été déversé 3 000 litres d'eau supplémentaires

(pluie artificielle) pour permettre au colorant de s'infiltrer en profondeur le 25 mai, à quoi s'est ajoutée la pluviométrie naturelle du 15 mai au 10 juin.



**Figure 46 : Mise en œuvre du mélange eau + colorant**

Le terrassement final (à la pelle) s'est déroulé le 10 juin. Au cours de la localisation du colorant, il a été pris des échantillons à différents points du sol pour mieux repérer la fluorescéine. Puis il a été réalisé un « mouillage » pour un constat plus fiable de la présence de fluorescéine (qui réagit à l'eau tel un rôle de révélateur) (cf. figure 47).

Au niveau de ces investigations, il n'a pas été réalisé d'essai où les lixiviats seraient passés au spectromètre afin de déterminer les concentrations en colorant.



**Figure 47 : Utilisation d'eau pour révéler le colorant dans le sol**

L'objectif d'une telle expérience était de comprendre le devenir immédiat de l'eau de pluie, d'identifier leurs migrations et leurs écoulements en fonction du temps. Il n'a pas été étudié le phénomène de vitesse d'infiltration, ni les autres phénomènes complexes.

### **3.2.3 Etudes préliminaires pour caractériser le site**

Des prélèvements de sol puis analyses (type teneur en eau) en laboratoire, étaient prévus, mais l'hétérogénéité des terrains (terrains remaniés, faible cohérence et indice de vide non homogène) et le caractère ponctuel des investigations ne peuvent pas donner une représentativité exacte de la zone d'étude (rue des Provençaux et parc du Cerisier). Ainsi ces mesures n'ont pas été réalisées.

La teneur en eau serait le premier essai à effectuer (pourcentage massique d'eau présente dans l'échantillon). Ceci permet de définir l'état initial.

Pour avoir un échantillon représentatif, il aurait fallu remanier et compacter le terrain et de ce fait modifier les conditions du sol (entre autres, l'indice des vides). Cette analyse n'a pas été réalisée.

Afin d'avoir une idée du sol en présence, il a été fait un sondage à la tarière sur chaque site (annexe 8 : carottage et coupes).

### 3.2.4 Limites de mesures

Ce mode opératoire présente un certain nombre de limites :

- il faut tenir compte du risque que représente une analyse ponctuelle et la non représentativité des mesures (surtout en secteur urbain fortement marqué par la problématique de remblai et terrains remaniés).
- il convient d'étalonner le sol avant l'essai pour faire le suivi de la migration de colorant - mais le sol étant très hétérogène, cet étalonnage n'a pas été réalisé.
- la répartition du colorant peut avoir une incidence sur les résultats. Une autre approche aurait pu être faite : mise de colorant en poudre sur le site (risque de dispersion par le vent et risque de ruissellement). De ce fait, il a été utilisé la méthode liée à une approche diffuse avec dilution des 200 g / site dilués dans la cuve du camion.
- la détermination des volumes d'eau aurait pu être normalisée en vue d'une reproductivité du mode opératoire, afin d'avoir une meilleure représentativité. Sur cette analyse trop de paramètres ne sont pas maîtrisés (hétérogénéité du sol pour définir un passage préférentiel des eaux, capacité d'infiltration, conditions hydriques du sol, ...).
- il n'a pas été étudié le facteur de l'impact de la pluie artificielle (figure 48), du soleil et du vent, qui ont certainement dégradé la propriété de l'infiltration de surface (premiers centimètres), à cause de la puissance du jet de la lance d'arrosage.



Figure 48 : reconstitution d'une pluie artificielle

- L'activité des micro-organismes dans le sol qui interagit certainement avec le colorant.

Quatre autres méthodes de traçage auraient pu être utilisées (par saturation ou par adsorption) :

- la sulforodamine bêta (colorant, inerte aux réactions biologiques),
- saturation par le sel,
- métaux lourds
- la radioactivité (en polluant le sol). Cette dernière reste le meilleur marqueur avec un procédé expérimental plus complexe, coûteux mais plus fiable. Les

substances ne devant pas être réactives sur les zones d'influence, cette possibilité n'a pas été retenue.

Ces méthodes plus complexes et plus coûteuses n'ont pas été retenues.

Une fois les protocoles d'intervention définis et leurs limites identifiées, les investigations de terrains ont été menées.

## 4 Résultats et interprétations

Les résultats des investigations sont exploités dans ce présent chapitre.

### 4.1 Pluviométrie

Les enregistrements de la pluviométrie restent les données les plus importantes pour pouvoir interpréter les mesures faites lors de cette étude.

Les évolutions constatées au niveau de l'eau dans le sol ont été analysées par rapport à la pluviométrie.

Les données pluviométriques et les niveaux de la Seine ont été acquis auprès du SIAAP. Il s'agit de données brutes. Le mois de mai a été choisi car cette période est généralement pluvieuse.

Les données de pluies proviennent d'un pluviomètre qui enregistre la pluie à un point donné ; c'est assez fiable, mais cela ne signifie pas qu'il a plu avec la même intensité sur l'ensemble de la commune.

Dans le tableau 10 ci-dessous les épisodes pluvieux significatifs ont été extraits soit 12 averses = 86 mm au total :

Début pluie	Fin pluie	Hauteur en mm
10/05/2009 à 21h55	11/05/2009 à 6h45	5,8
12/05/2009 à 2h10	12/05/2009 à 7h35	24,4
13/05/2009 à 1h25	13/05/2009 à 2h40	6,6
15/05/2009 à 13h25	15/05/2009 à 14h10	2,4
16/05/2009 à 23h25	17/05/2009 à 4h25	3
25/05/2009 à 23h55	26/05/2009 à 1h25	10,4
26/05/2009 à 11h25	26/05/2009 à 12h35	2,4
06/06/2009 à 7h20	06/06/2009 à 12h35	2
07/06/2009 à 2h20	07/06/2009 à 4h30	2
07/06/2009 à 17h05	07/06/2009 à 22h35	1,8
08/06/2009 à 12h10	08/06/2009 à 20h15	13
15/06/2009 à 9h00	16/06/2009 à 5h30	12,6

**Tableau 10 : pluviométrie d'Argenteuil du 10-05 au 15-06 2009**

La période de mesure présente des bilans pluviométriques supérieurs aux normales constatées soit 65 mm.

### 4.2 Niveau de la Seine

Par ailleurs, afin de tenir compte des contraintes liées à l'impact de la nappe alluviale, il a été enregistré l'évolution du niveau de la Seine (données SIAAP). (Cf. figure 49)

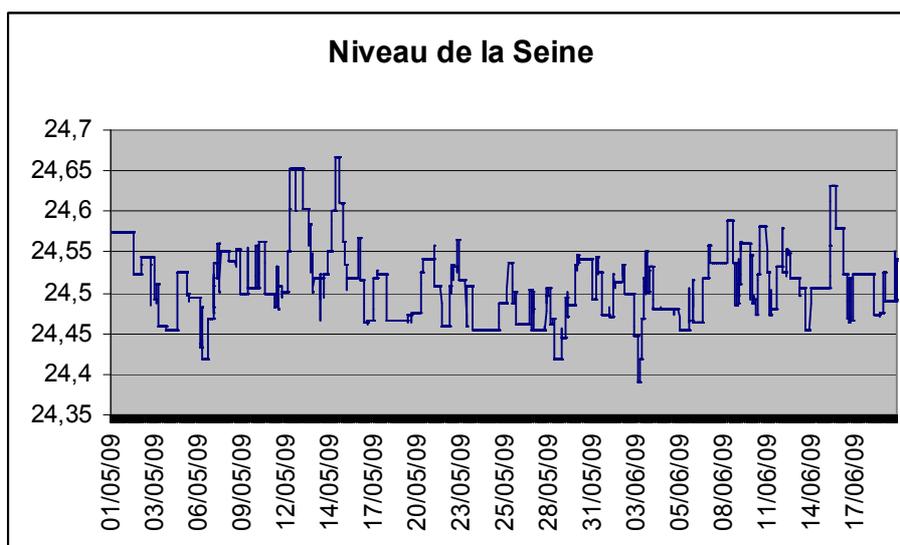


Figure 49 : Niveau de la Seine pendant la période de mesure

L'évolution du niveau d'eau de la Seine n'est pas liée aux épiphénomènes locaux, car le fleuve représente un vaste bassin versant. L'information sur le niveau de la Seine est nécessaire pour définir les interactions entre la nappe alluviale et les autres nappes (=le niveau des piézomètres).

### 4.3 Sites pour la mise en œuvre de piézomètres

L'objectif de cette méthode est d'interpréter les variations du niveau des nappes en fonction de la pluie et du niveau de la Seine.

Les interprétations se feront à partir de données interprétés et lissés. Il s'agit de mesures NGF.

Les principales variations des nappes se font soit en fonction de la pluviométrie, soit en fonction des interactions et les niveaux de différentes nappes.

La nature du sol a été définie par les sondages de sol lors de la mise en œuvre de piézomètre (cf. annexe 7 : coupes géologiques verticales). Les évolutions de niveau d'eau ont été extrapolées par rapport aux formations géologiques.

Seuls les piézomètres 1, 2 et 3 sont dans une zone ayant une relation supposée avec la nappe alluviale de la Seine; ainsi ces nappes seront analysées en superposition avec le niveau de la Seine pour évaluer les incidences et les relations.

Le bilan des investigations est présenté dans ce présent chapitre. Il est proposé une analyse plus fine des investigations en annexe 9.

*Nota : les investigations ne restent pas à l'abri d'erreurs de mesures (appareillage et/ou erreur humaine).*

### 4.3.1 Mesures du niveau des piézomètres

#### ➤ Piézomètre 1

Le graphique ci-dessous (figure 50) met en exergue la superposition du niveau du piézomètre 1 en fonction des pluies rencontrées et de la nature du sol lors des investigations de terrain :

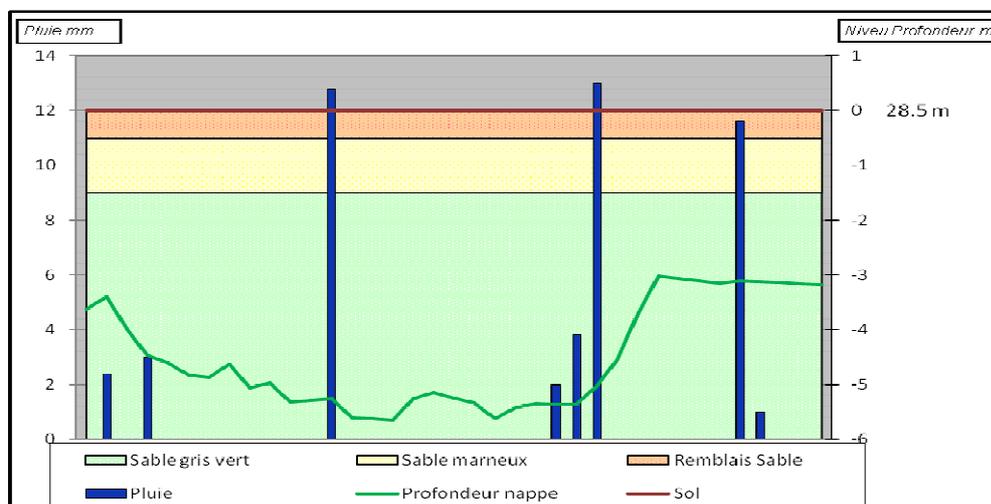


Figure 50 : Evolution du PZ1 en fonction du temps et de la pluie

La variation est de 2,61 m. Le niveau de nappe évolue exclusivement dans une formation lithologique que sont les sables gris verts.

Ce graphique met en évidence les relations entre le PZ1 et les pluies, leur corrélation ne semble pas évidente, excepté pour la pluie du 9 juin.

Voici le graphique de superposition du niveau du piézomètre 1 en fonction du niveau de la Seine à Argenteuil, sur la même échelle (NGF) lors des investigations de terrain (figure 51) :

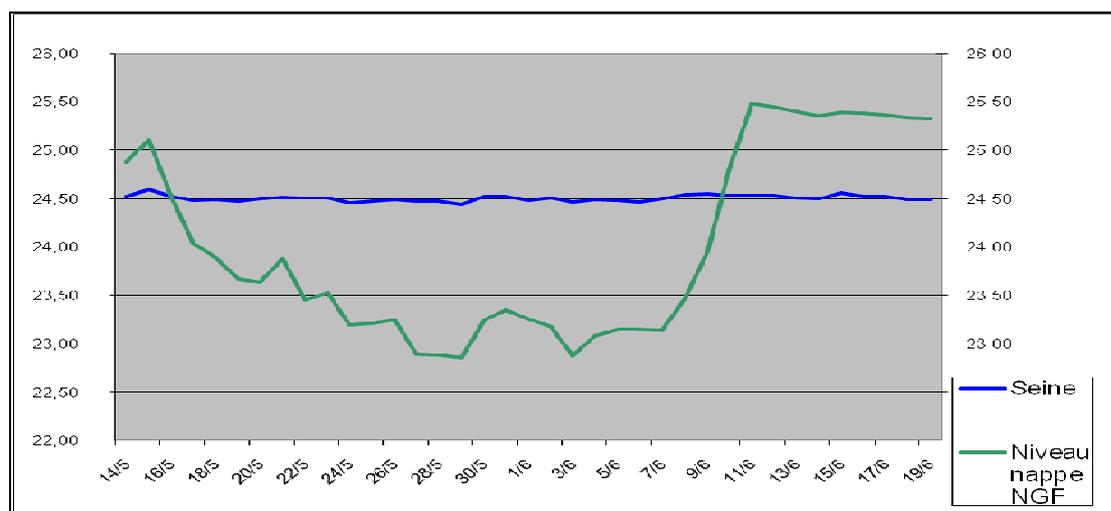


Figure 51 : Evolution du PZ1 en fonction du temps et du niveau de la Seine

Ce graphique met en évidence les relations entre le PZ1 et la Seine. Les évolutions de variation sont semblables. Le PZ1 a une variation légèrement plus ample.

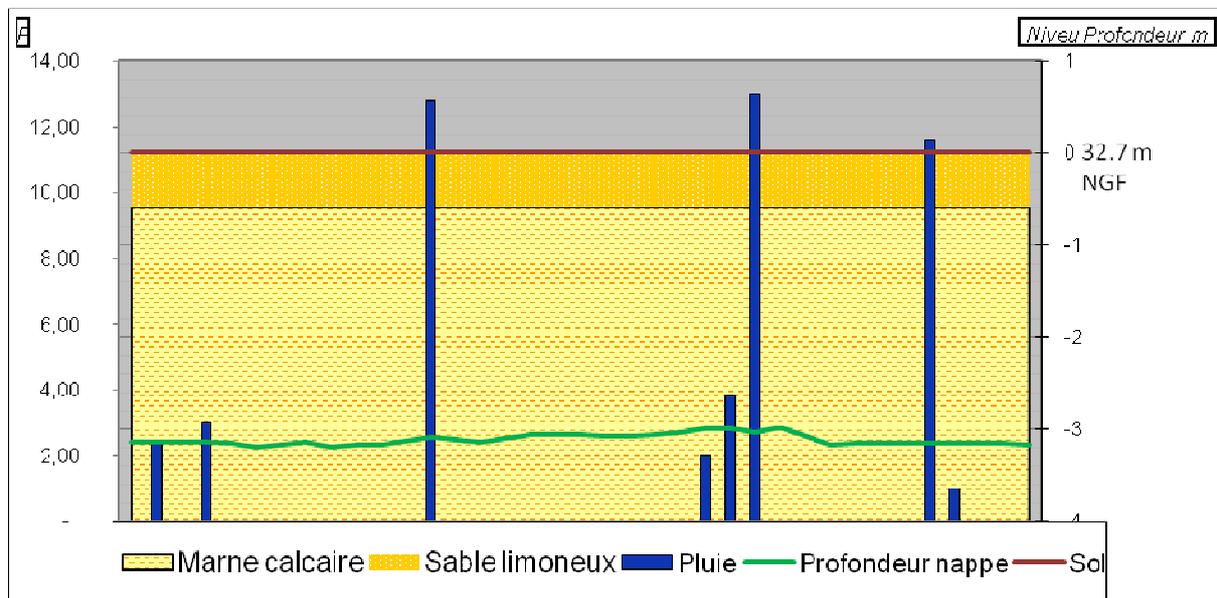
Ainsi du 14 au 15 mai et à partir du 10 juin la nappe du PZ1 alimente la nappe alluviale de la Seine. Par contre du 15 mai au 10 juin la nappe alluviale de la Seine a alimenté la nappe du PZ1.

La variation du PZ1 suit l'évolution du niveau de la Seine même si les niveaux paraissent lissés. Ceci s'explique par le fait que la capacité de « stockage » de la Seine est bien plus importante que la nappe du PZ1.

**Le PZ1 est un point d'interface entre une nappe de versant et la nappe alluviale.**

### ➤ Piézomètre 2

Le graphique ci-dessous (figure 52) met en exergue la superposition du niveau du piézomètre 2 en fonction des pluies rencontrées et de la nature du sol lors des investigations de terrain :



**Figure 52 : Evolution du PZ2 en fonction du temps et de la pluie**

La variation est de 0,22 m. Le niveau de nappe évolue exclusivement dans une formation lithologique que sont les marnes calcaires beiges rosacés. L'évolution du niveau d'eau dans cette formation semble moins sensible et vulnérable que les interactions dans les masses de sable.

Ce graphique met en évidence les relations entre le PZ2 et les pluies. Leur corrélation ne semble pas évidente. L'information essentielle à retenir sur ces mesures est que la nappe mesurée est insensible aux précipitations.

Voici le graphique de superposition du niveau du piézomètre 2 en fonction du niveau de la Seine à Argenteuil, sur la même échelle (NGF) lors des investigations de terrain (figure 53) :

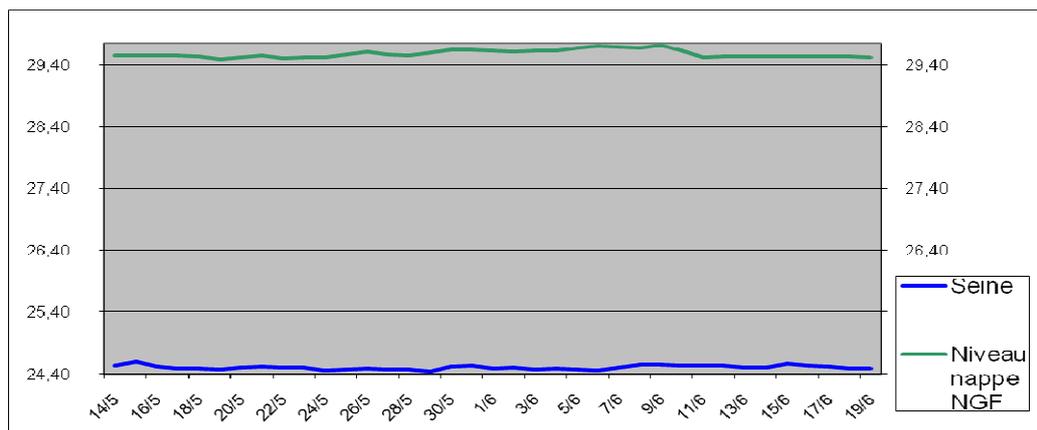


Figure 53 : Evolution du PZ2 en fonction du temps et du niveau de la Seine

Ce graphique met en évidence les relations entre le PZ2 et la Seine, les évolutions de variation sont semblables.

La variation du PZ2 suit l'évolution du niveau de la Seine.

**Le PZ2 est un point de mesure de la nappe alluviale de la Seine.**

➤ **Piézomètre 3**

Le graphique ci-dessous (figure 54) met en exergue la superposition du niveau du piézomètre 3 en fonction des pluies rencontrées et de la nature du sol lors des investigations de terrain :

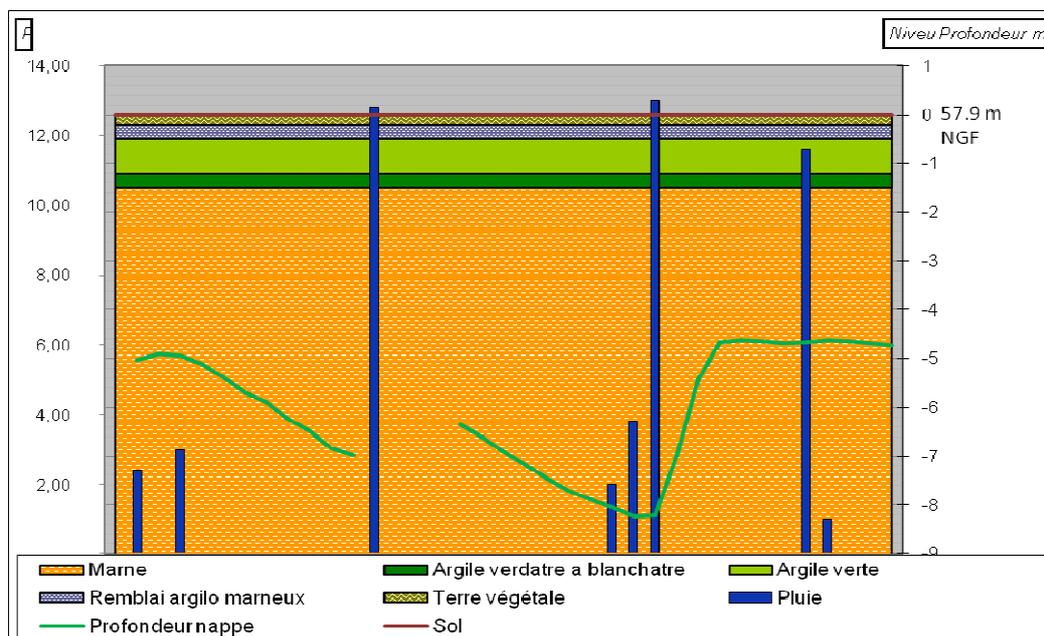


Figure 54 : Evolution du PZ3 en fonction du temps et de la pluie

La variation est de 3,58 m. Le niveau de nappe évolue exclusivement dans une formation lithologique que sont les marnes grisâtres. L'évolution du niveau d'eau dans cette formation semble sensible et vulnérable. Il faut distinguer la présence d'une épaisseur d'argiles vertes entre 1 et 2 m qui limitera l'impact des eaux pluviales immédiates sur le bassin versant de collecte. Ainsi les niveaux observés sont issus d'eau collectée en amont suivant un passage préférentiel (ou axe de drainage aux abords du piézomètre 3).

Le toit de la nappe semble limité par la formation d'argiles vertes dans les horizons superficiels. Cette structure de sol limite l'infiltration verticale d'eaux pluviales. Il faut tout de même relativiser vis-à-vis de l'hétérogénéité des sols.

Ce graphique met en évidence les relations entre le PZ3 et les pluies, leur corrélation semble évidente (sauf pour la pluie du 15/06 qui ne repercute pas d'évolution du niveau constaté).

Voici le graphique de superposition du niveau du piézomètre 3 en fonction du niveau de la Seine à Argenteuil, sur la même échelle (NGF) lors des investigations de terrain (figure 55) :

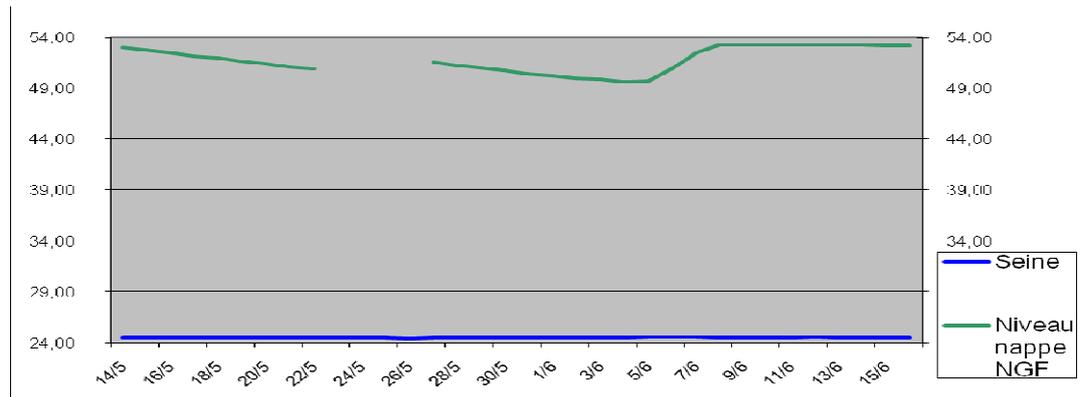


Figure 55 : Evolution du PZ3 en fonction du temps et du niveau de la Seine

Ce graphique ne met pas en évidence les relations entre le PZ3 et la Seine, les évolutions de variation ne sont pas semblables.

**Le PZ3 est un point de mesure d'une nappe de versant qui alimente la nappe alluviale de la Seine.**

➤ **Piézomètre 4**

Il n'a pas été constaté de variation de niveau d'eau sur la période du 14 mai au 19 juin 2009.

Le graphique ci-dessous (figure 56) met en exergue la nature du sol lors des investigations de terrain :

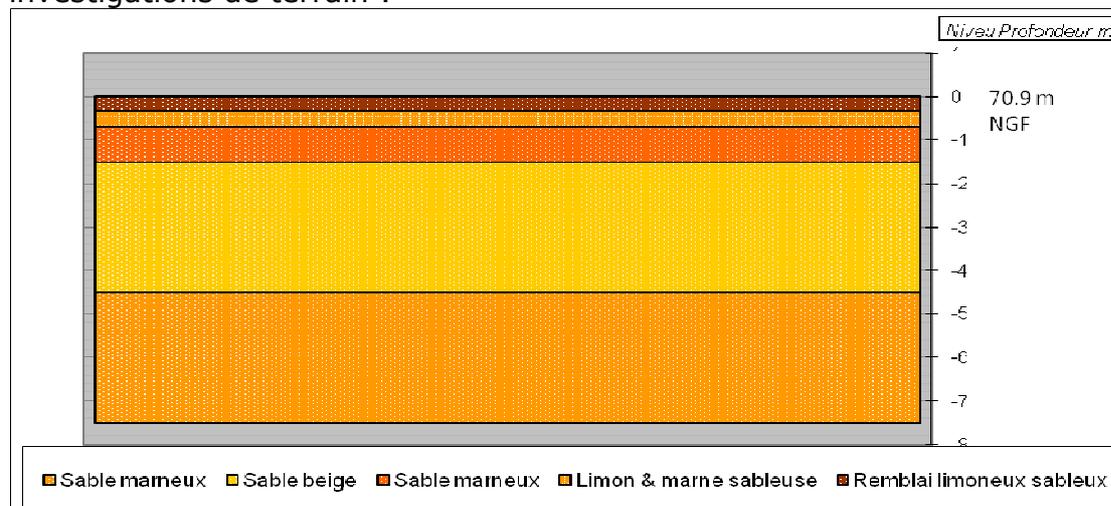


Figure 56 : Evolution du PZ4 en fonction du temps et de la pluie

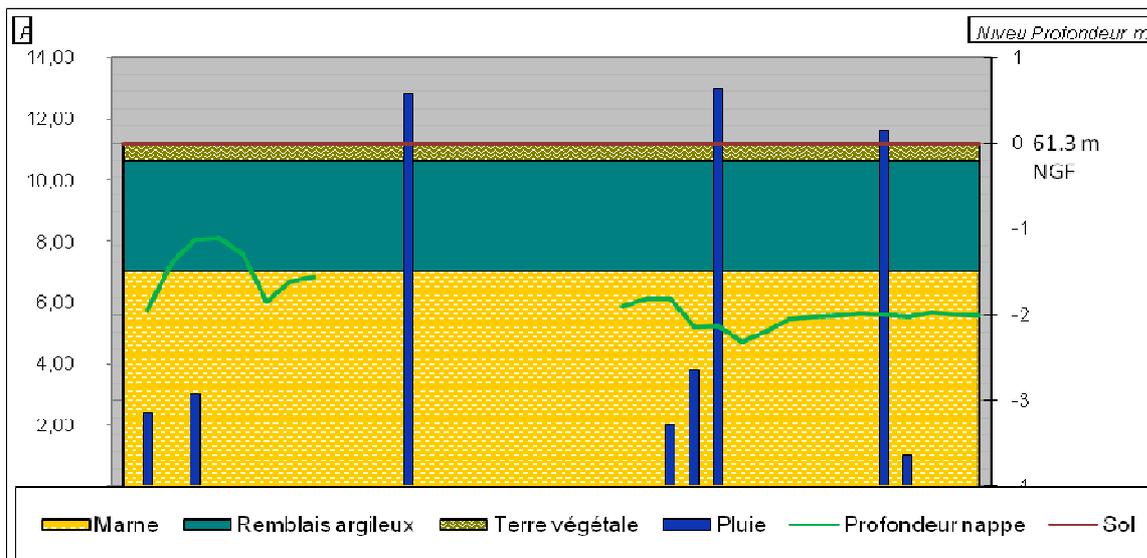
Un niveau d'eau ponctuel a été constaté lors du sondage (à 7,15 m dans les sables marneux marrons beiges), mais aucun niveau n'a été constaté dans le cadre de la mise en œuvre du piézomètre.

Le fait de ne pas avoir d'information est une information en soi.

**Donc, il n'y a pas de nappe, ni de passage préférentiel des eaux de pluie dans le sol aux abords du piézomètre 4.**

#### ➤ **Piézomètre 5**

Le graphique ci-dessous (figure 57) met en exergue la superposition du niveau du piézomètre 5 en fonction des pluies rencontrées et de la nature du sol lors des investigations de terrain :



**Figure 57 : Evolution du PZ5 en fonction du temps et de la pluie**

La variation est de 1,90 m. Le niveau de nappe évolue exclusivement dans une formation lithologique que sont les marnes beiges. L'évolution du niveau d'eau dans cette formation est faible.

Ce graphique met en évidence les relations entre le PZ5 et les pluies, leur corrélation ne semble pas évidente. L'information essentielle à retenir de ces mesures est que la nappe mesurée est peu sensible aux précipitations.

Un contexte d'hétérogénéité du sol marqué permet de comprendre le niveau d'eau dans les remblais argileux.

Le toit de la nappe semble limité par la formation de remblais argileux dans les horizons superficiels. Cette structure de sol limite l'infiltration verticale d'eaux pluviales.

Néanmoins la variation du niveau de la nappe rencontrée indique qu'il s'agit d'un axe de drainage et la formation d'argiles empêche une résurgence en ce secteur.

**Le PZ5 est une nappe perchée peu alimentée en eau de pluie ou par des interactions entre nappes de sub-surface.**

### ➤ Piézomètre 6

Il n'a pas été constaté de variation de niveau d'eau sur la période du 14 mai au 19 juin 2009.

Le graphique ci-dessous (figure 58) met en exergue la nature du sol lors des investigations de terrain :

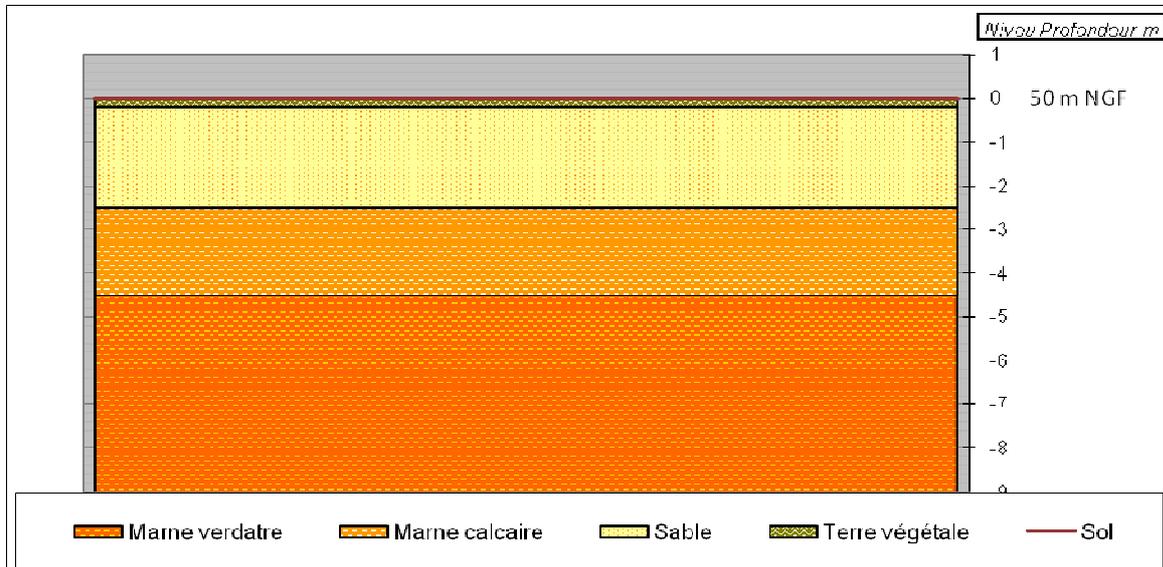


Figure 58 : Evolution du PZ6 en fonction du temps et de la pluie

Un niveau d'eau ponctuel a été constaté lors du sondage (à 7,5 m dans les marnes verdâtres), mais aucun niveau n'a été constaté dans le cadre de la mise en œuvre du piézomètre 6.

Le fait de ne pas avoir d'information est une information en soi.

**Donc, il n'y a pas de passage préférentiel des eaux de pluie dans le sol aux abords du piézomètre 6.**

### ➤ Piézomètre 7

Le graphique ci-dessous (figure 59) met en exergue la superposition du niveau du piézomètre 7 en fonction des pluies rencontrées et de la nature du sol lors des investigations de terrain :

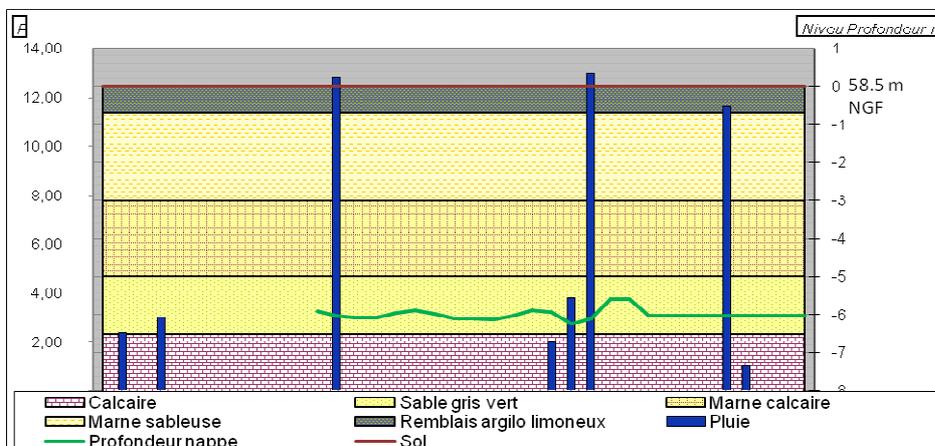


Figure 59 : Evolution du PZ7 en fonction du temps et de la pluie

La variation est de 0,64 m. Le niveau de nappe évolue exclusivement dans une formation lithologique que sont les sables gris verts. L'évolution du niveau d'eau dans cette formation est faible.

Ce graphique met en évidence les relations entre le PZ7 et les pluies, leur corrélation ne semble pas évidente. L'information essentielle à retenir de ces mesures est que la nappe mesurée est peu sensible aux précipitations.

Il serait intéressant de vérifier s'il y a un niveau d'eau dans les calcaires, afin de savoir si les sables argileux sont une « barrière » au développement de la nappe, ou si le niveau d'eau est exclusivement le niveau d'eau dans les sables.

**Le PZ7 est une nappe perchée peu alimentée en eau de pluie ou par des interactions entre nappes.**

### 4.3.2 Les éléments d'interprétation

Les résultats obtenus permettent de constater qu'en temps de pluie le niveau des nappes augmente de quelques centimètres à quelques mètres, en fonction de la réactivité de la nappe mesurée (figure 60).

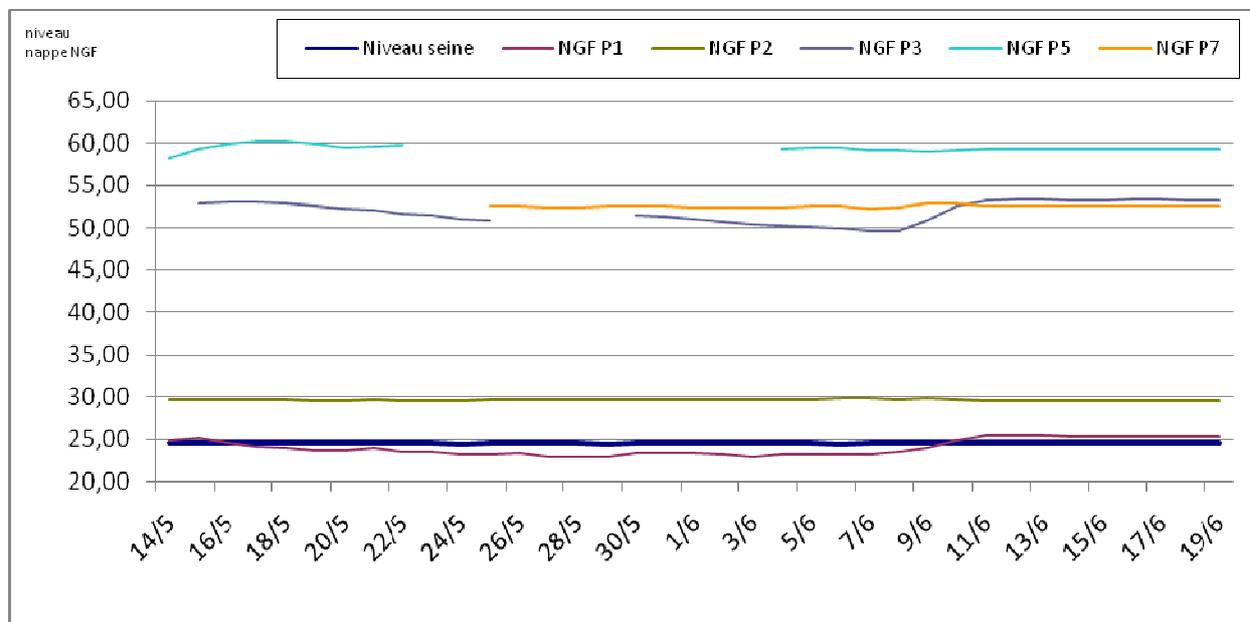


Figure 60 : Evolution des 7 PZ et du niveau de la Seine en fonction du temps

Ces variations de niveau se font à profondeurs différentes en fonction des caractéristiques des nappes et du sol.

La figure 61 met en exergue les évolutions relatives des nappes en fonction du temps

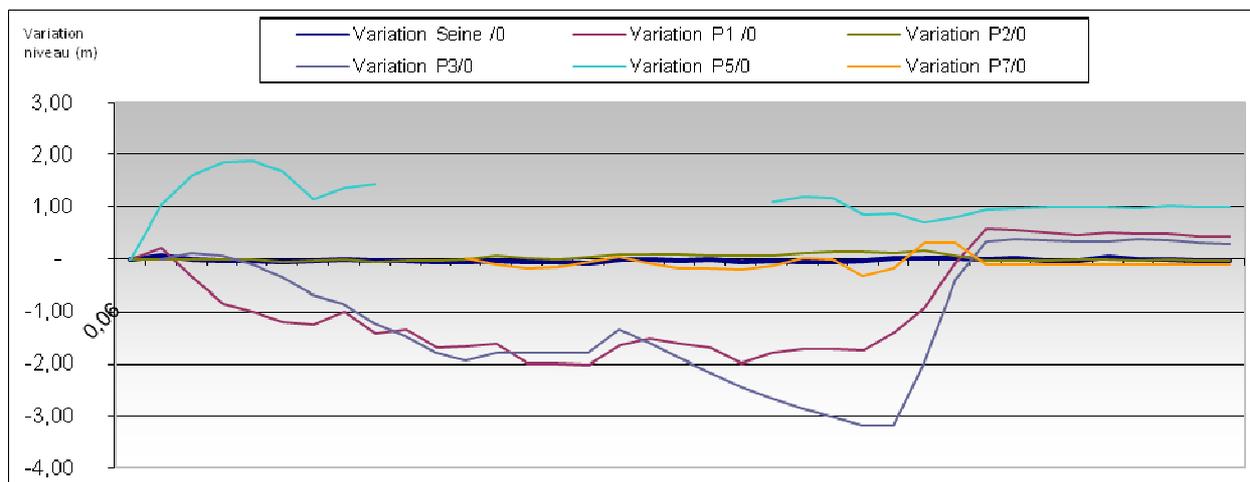


Figure 61 : Evolution relative des 7 PZ et du niveau de la Seine en fonction du temps

Les piézomètres 1, 3 et 5 se montrent les plus sensibles et réactifs. Ces variations sont dues soit aux pluies, au niveau de la Seine ou aux interactions entre nappes du sous sol.

La réactivité des nappes en fonction des pluies est mentionnée dans le tableau 11 suivant (les graphiques sont consultables en annexe 10) :

Piézomètres	Réactivité de la nappe / aux pluies	Type de nappe	Cohérent / aux conclusions
PZ1	1,5 h	nappe de versant	Oui
PZ2	x	nappe alluviale	Oui
PZ3	1,5 h	nappe de versant	Oui
PZ4	x	pas de nappe	Oui
PZ5	x	nappe perchée	Oui
PZ6	x	pas de nappe	Oui
PZ7	8h	nappe perchée	Oui

**Tableau 11 : Bilan de la réactivité des nappes par rapport aux pluies**

**Les piézomètres placés aux abords de la Seine (distance vérifiée jusqu'à 675 m) sont en corrélation/interaction avec la nappe alluviale (ou niveau de la Seine).**

Les niveaux de certaines nappes les plus affleurantes varient très modérément. Il est vraisemblable que les eaux qui s'infiltrent s'orientent vers un réseau préférentiel (axe de drainage), l'infiltration est certainement diffuse.

Il serait souhaitable de vérifier l'existence de chemins souterrains préférentiels. Ce qui amène à mener la seconde expérience pour identifier les chemins potentiels en fonction de l'hydrographie, des réseaux...

## 4.4 Zones d'infiltration / Tests de percolation

### 4.4.1 Résultats des investigations de terrain

Il y a eu 6 000 litres d'arrosage artificiel sur chaque parcelle de 100 m<sup>2</sup> (3m<sup>3</sup> le 15 mai et 3m<sup>3</sup> le 25 mai). Par ailleurs la pluviométrie naturelle est de 37,0 mm (du 15 mai au 10 juin 2009). Ainsi 3 700 litres d'eau de pluie ont été infiltrés.

Il a été mis en jeu 200 g de traceur pour 9 700 litres d'eau infiltrée par site.

Au niveau de la phase mise en œuvre, il a été constaté que les terrains concernés étaient propices à l'infiltration du fait de leur hétérogénéité.

#### ➤ Cerisier

Sur le site du parc du Cerisier, la capacité d'absorption du sol est importante mais lors lorsque le terrain est saturé d'eau, il peut être observé un ruissellement superficiel (en fonction de l'intensité et la durée de la pluie). Ce ruissellement suit la topographie de surface (en accord avec la pente du terrain). (Cf. figure 62)



**Figure 62 : Mise en œuvre du colorant avec les contraintes topographiques du site**

En phase de terrassement, il a été rencontré une petite poche d'eau (environ 20 litres) en figure 63. Cette réserve peut être assimilée à une nappe perchée dans les remblais (avec une perméabilité faible). Celle-ci s'est écoulée sans montrer de signe de présence de colorant.



**Figure 63 : Ecoulement d'une poche d'eau**

Lors du terrassement à la pelle, il n'a pas été constaté de traces de fluorescéine ni en surface, ni en profondeur.

L'absence de colorant s'est montrée d'autant plus flagrante :

- en surface : le sol s'est avéré pollué aux hydrocarbures et les « traces jaunes » auraient été visibles sur un support de sol noir,
- en profondeur : une couche de marnes claires retrouvées à 2 m de profondeur a validé l'absence de particules jaunes (cf figure 64).



**Figure 64 : Terrassement à la pelle mécanique pour identifier la pénétration du colorant**

Ces éléments confortent l'hypothèse d'une non infiltration verticale. Ce qui laisse à penser d'une **infiltration horizontale** avec un écoulement hypodermique de sub-surface, suivant un axe de drainage du sous sol.

Ainsi sur cette zone d'étude, il a été mis en évidence :

- le rôle de la pente qui oriente l'écoulement de surface lorsque le terrain est saturé d'eau,
- Le rôle du terrain pollué qui peut rendre le sol imperméable par colmatage de la porosité efficace,
- Le rôle de la couche marneuse qui empêche les eaux infiltrées de pénétrer plus en profondeur, ce qui entraîne une infiltration horizontale.

## ➤ Provençaux

Sur le site de la rue des Provençaux, des traces de fluorescéine ont été constatées au niveau d'un prélèvement dans les 10 premiers centimètres du sol. Le prélèvement a été réalisé dans la terre végétale riche en fines et en racines (en fin d'investigation). Il y a certainement eu un phénomène de piégeage par les racines.

Par contre il n'y a eu aucune trace retrouvée en profondeur.

Lors de la mise en œuvre de colorant, il n'a pas été constaté d'écoulement immédiat de surface, ni de présence d'eau dans le fossé.

L'interprétation retenue est qu'il y a eu un phénomène d'infiltration horizontale due à la présence de marne. L'absence d'eau dans le fossé et la réhabilitation des réseaux d'assainissement en 2008 conduisent à l'hypothèse que les eaux ont suivi un écoulement horizontal en direction de la voie SNCF, à 100 mètres de la zone d'étude. La voie SNCF joue le rôle de drain (cf. figure 65).



Figure 65 : Terrassement pour identifier la présence de colorant

Ainsi sur cette zone d'étude, il est mis en évidence :

- le rôle joué par les 10 premiers centimètres de sol riche en fines qui ont piégé le colorant,
- le rôle de la couche marneuse qui empêche les eaux infiltrées de pénétrer en profondeur, ce qui entraîne une infiltration horizontale,
- le rôle de la voie ferrée au sud de la zone d'étude qui joue un rôle de drain en direction de la Seine.

### 4.4.2 Les éléments d'interprétation

Lors de la phase de dépouillement des données (terrassement à la pelle), il n'y a pas eu d'indication visuelle de présence de colorant. La fluorescéine a globalement migré sans se fixer au sol. Les résultats de cette investigation sont relativement décevants car ceux-ci ne permettent pas une interprétation du cheminement de l'eau.

Afin d'éviter un ruissellement urbain conséquent, il est nécessaire de tamponner (en amont, si possible) au maximum les eaux pour que le terrain ait le temps d'infiltrer l'eau (en fonction de la capacité d'infiltration et la durée/intensité de la pluie).

Les enseignements à retenir de cette méthodologie sont :

- le site du parc du Cerisier permet de constater que l'imperméabilisation d'un niveau peu profond du sous-sol induit une infiltration horizontale ou un ruissellement de sub-surface.
- le site des Provençaux permet de constater la présence de traceur en moyenne à 10 cm de profondeur. Ceci conduit à penser qu'une partie des eaux de pluies ont été stockées dans les premiers centimètres du sol, du fait des fines ou racines.

Les deux zones d'infiltration ont permis de conclure que les remblais sur une couche imperméable permettent un processus d'infiltration horizontale ; il y a un chemin préférentiel des eaux superficielles.

Les leçons qu'il est nécessaire de retenir sur ces méthodes sont :

- de faire des études de sol afin d'identifier les contraintes liées aux sols à composante hétérogène, fortement remaniés (remblais de mauvaise qualité), et d'identifier des méthodes de reconnaissance adaptées,
- lors des deux expériences mises en œuvre, il a été mis en évidence un écoulement horizontal,
- il s'agit d'analyses au cas par cas sur deux sites donnés (qui ont des caractéristiques propres au contexte urbain).

Par ailleurs, les sols urbains sont assez souvent pollués, ce qui représente un handicap dans la gestion qualitative des eaux.

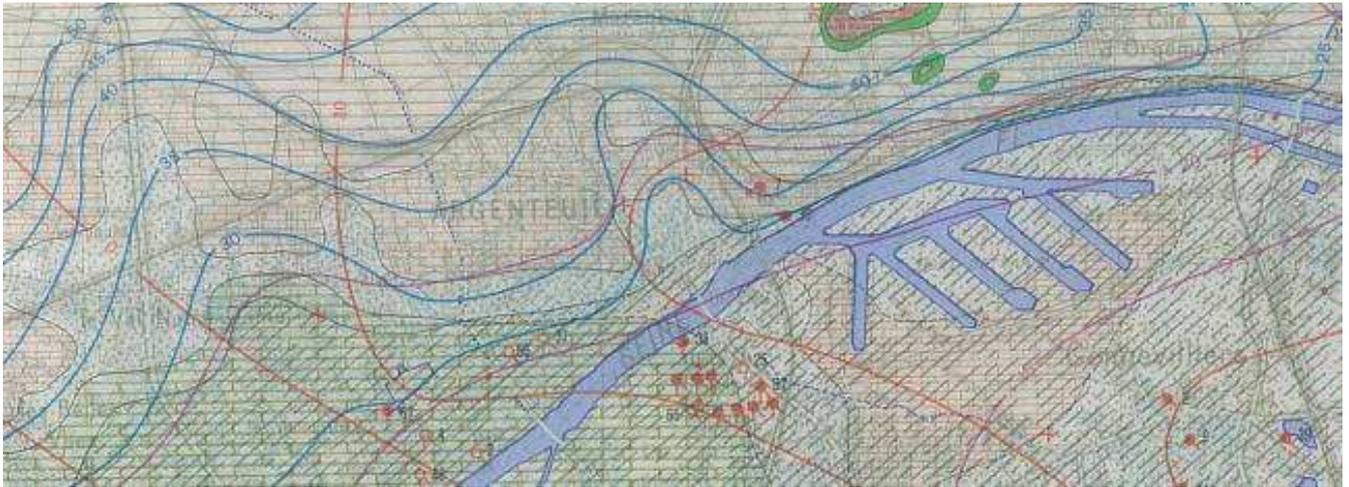
Il est, de ce fait, nécessaire de mener une étude plus poussée afin de déterminer la nature et l'état du sol (à l'échelle de la parcelle) pour obtenir une maîtrise optimale.

Les remblais, avec un pourcentage de vide non négligeable (pour la rétention d'eau), peuvent paraître très intéressants dans la gestion des eaux pluviales par infiltration.

Il est complexe de comprendre et maîtriser la gestion quantitative des eaux (difficulté de déterminer un chemin préférentiel des eaux, les exutoires, le temps de séjour ou temps de migration des eaux dans le sol).

## 5 Interprétations

D'après la carte hydrogéologique de Paris de 1970 (figure 66) au 1/50 000, l'écoulement de la nappe de l'éocène se fait en direction de la Seine, vers le sud-est, avec un gradient de l'ordre de 1 %.



**Figure 66 : Niveau piézométrique de la nappe de l'Eocène**

Dans la présente étude, le devenir des eaux de pluies a plusieurs cheminements :

- ruissellement de surface et passage en réseau d'assainissement,
- infiltration dans les nappes de surface qui suivent un passage préférentiel (ou axe de drainage, soit via les réseaux enterrés, soit via des cheminements naturels par des structures de sols remaniés), jusqu'à un exutoire ou point d'engouffrement.

**L'infiltration peut être simplifiée par les mécanismes qui régissent les écoulements de l'eau que sont la gravité et l'imperméabilisation. Ainsi dès que l'eau rencontre une couche étanche, elle s'écoule horizontalement vers un exutoire (soit plus en profondeur via les point d'engouffrement, soit vers la surface par une résurgence).**

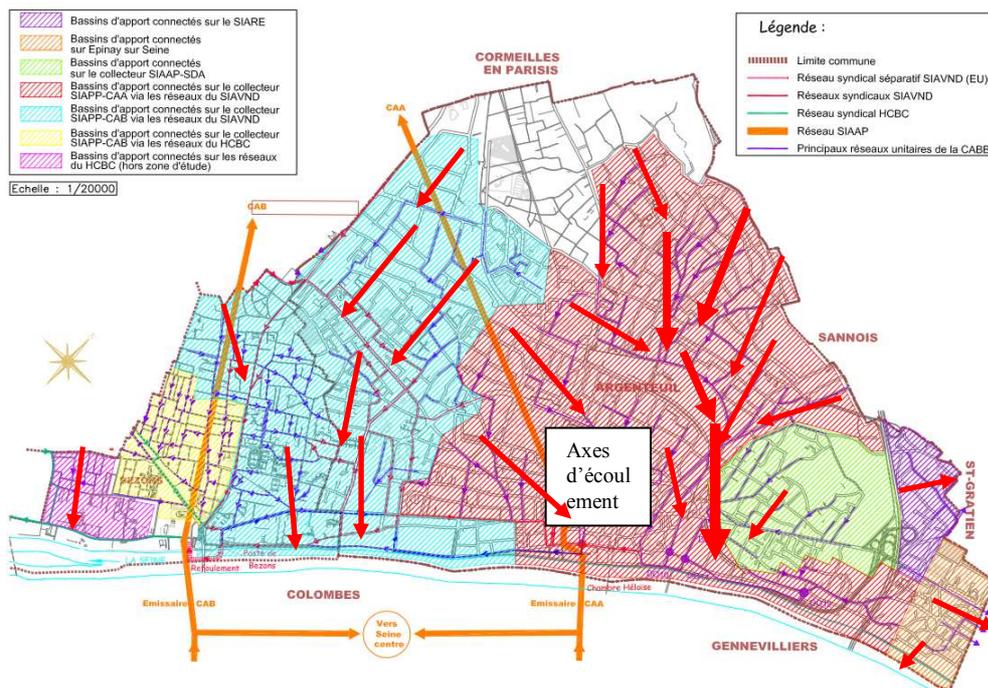
Sur la commune d'Argenteuil, il est retenu trois types de nappes :

- la nappe alluviale de la Seine
- les nappes de sub-surface (nappes de versant ou perchées),
- les nappes plus profondes (notamment la nappe de Beauchamp sur Argenteuil).

Les pourcentages de répartition des eaux pluviales dans ces nappes n'a pas fait l'objet de cette présente étude.

Les interactions entre ces trois types de nappes restent méconnues et nécessitent des données expérimentales complémentaires pour définir les interactions et les points d'engouffrement.

Une carte (figure 67) a pu être proposée d'après la figure 17 et l'expérience avec les zones d'infiltration. Voici les écoulements supposés des nappes de sub-surface :



**Figure 67 : bassin versant des nappes de sub-surface**

Les bassins versants des nappes de sub-surface suivent globalement les bassins versants lié à la collecte des eaux pluviales (topographie).

Les essais Lefranc réalisés indiquent qu'à une profondeur de 4 m le sol ne facilite pas une infiltration verticale (perméabilité  $10^{-6}$ ). (cf. tableau 12 et annexe 11)

	Profondeur (m)	Formation géologique	débit d'injection ( $10^{-5}$ m <sup>3</sup> /s)	perméabilité montée ( $10^{-6}$ m/s)	perméabilité descente ( $10^{-6}$ m/s)	k ( $10^{-6}$ m/s)
PZ1	4	Sables gris vert	2,1	1,6	2,4	1
PZ2	4	Marne Calcaire	2,1	7	2	1
PZ3	4	Marne	2,1	0,9	5,5	0,1
PZ4	4	Sable beige	2,1	3,4	2,7	1
PZ5	4	Marne	2,1	4,5	1,9	1
PZ6	4	Marne verdâtre	2,1	2,5	0,45	0,1
PZ7	4	Marne calcaire	2,1	1,8	5	1

**Tableau 12 : Exploitation des essais Lefranc pour les 7 PZ**

Les valeurs de perméabilité obtenues indiquent que les sols à une profondeur de 4 m (perméabilité moyenne de  $1 \cdot 10^{-6}$ ) sont globalement peu perméables. Cette caractéristique risque de favoriser l'infiltration horizontale (via les axes de drainage).

Il a été pris en compte les notions de volume de pluies infiltrées dans les nappes.

La surface d'Argenteuil est de 1 738 ha et une pluviométrie de 86 mm = 1 494 680 m<sup>3</sup>(=P).

L'hypothèse de calcul retenue est une imperméabilisation de 70 à 80 %.

Toiture	0,9
Voirie - Chemins	0,7 à 0,9
Espaces verts - Pré	0,03 à 0,15

Le bilan hydrique est évidemment différent en fonction du bassin versant (topographie, aménagements, ...). Sylvie Barraud (31-01-2008) formule des hypothèses d'un bilan hydrique en fonction de l'occupation des sols (figure 68).

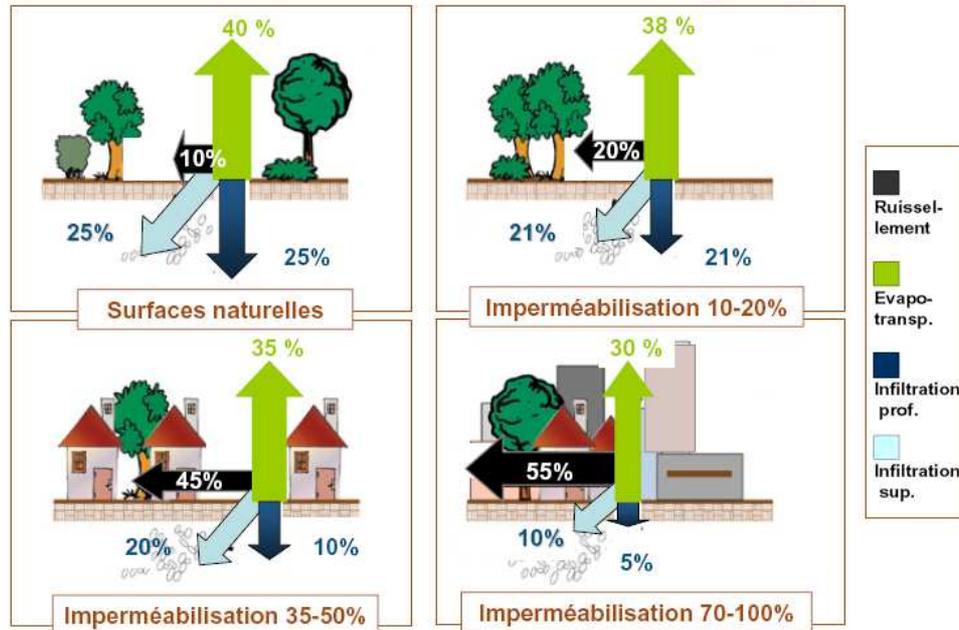


Figure 68 : Répartition du bilan hydrique en fonction des milieux

Nota : En milieu urbain, peu d'eau s'infiltré directement et au moins la moitié des précipitations ruisselle sur le sol jusqu'à un point bas (souvent un cours d'eau ou un réseau) ou jusqu'à une zone de surface « naturelle » où elle peut s'infiltrer.

Vu la prééminence du phénomène de ruissellement en milieu urbain, il est essentiel de développer une gestion des eaux intégrant le contexte socio-pédo-géographique afin de maîtriser au mieux les flux superficiels, limiter les désordres et, ainsi préserver l'environnement.

Plus généralement, la maîtrise de l'incidence des aménagements sur le cycle de l'eau passe, d'après l'équation du bilan, par :

- maîtriser le ruissellement (en limitant l'imperméabilisation),
- favoriser (ou non) l'infiltration,
- de manière ponctuelle, travailler sur l'évapotranspiration au moyen du choix des végétaux mis en jeu.

La réflexion (hypothèses de calcul) de ce projet est partie sur les conclusions de l'étude de Mme BARRAUD, même si les conditions de bassin versant sont

certainement différentes ce qui modifierait la répartition des eaux. A savoir, voici les hypothèses de calcul qui justifient le cheminement des eaux pluviales :

- 55% de ruissellement soit  $822\,074\text{ m}^3(=R)$ .
- 30% d'évapotranspiration soit  $448\,404\text{ m}^3(=ETR)$ .
- 10% d'infiltration superficielle soit  $149\,468\text{ m}^3(=R_{ss} = \text{ruissellement sous sol (ou circulation d'eau dans sous sol)})$ .
- 5% d'infiltration en profondeur soit  $74\,734\text{ m}^3(=I_p)$ .

Les 55% d'eaux ruisselées sont orientées principalement vers le réseau d'assainissement, il s'agit d'une problématique d'eaux claires météoriques (ECM). L'aspect de l'exfiltration des eaux usées et pluviales du réseau vers le milieu naturel a été volontairement négligé.

Par ailleurs il faut tenir compte que les eaux infiltrées seront drainées au niveau du sous-sol urbain et orientées pour partie dans les réseaux d'assainissement.

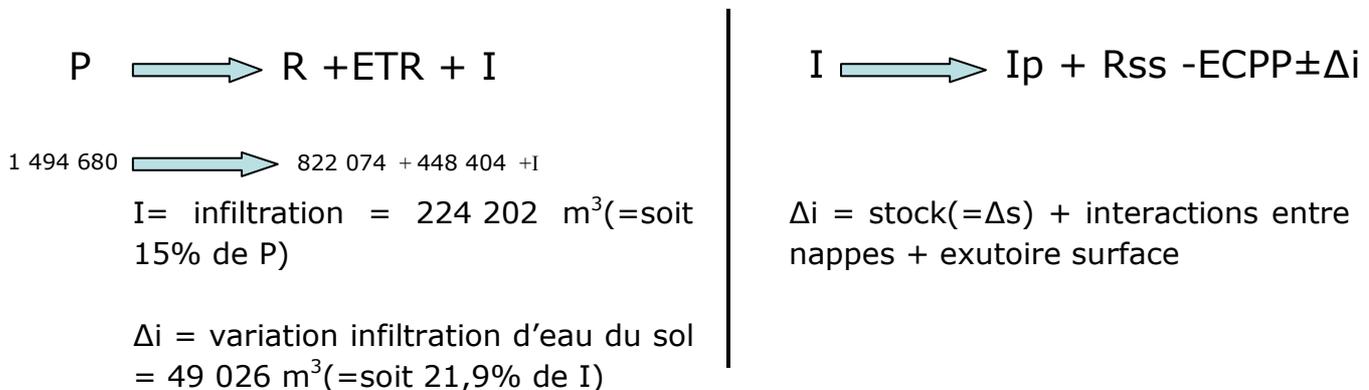
Le pourcentage d'eaux claires parasites permanentes (ECPP) a été défini au niveau du SDA de 2010. 24 % du volume total collecté sont des ECPP soit  $4\,866\text{ m}^3/\text{j}$  (déterminé lors de période de mesures en novembre 2009, les fuites d'eau ont été négligées). De ce fait  $175\,176\text{ m}^3$  d'eau dans le sous sol ont été réorientés vers le réseau d'assainissement du 10 mai au 15 juin 2009.

Ainsi, il reste à répartir sur la zone d'étude un volume de  $49\,026\text{ m}^3$ , sur l'aire d'alimentation des nappes de sub-surface lors de la période de mesure qui se répartie dans la variation du stock d'eau sous terrain. Ce volume est soit restitué en profondeur, soit ruisselé en sub-surface jusqu'à un exutoire de surface ou une nappe alluviale, soit fait partie de la variation de stock d'eau sous terrain.

Compte tenu d'une méconnaissance sur les interactions entre les différentes nappes, cet aspect a été négligé pour ne pas faire trop d'approximations.

Le cheminement de ces eaux du sous sol est multiple :

- Stockage dans les premiers horizons du sol (évolution du taux d'humidité pouvant aller jusqu'à saturation). Cette ressource peut être peut avoir plusieurs devenir : évaporation, évapotranspiration par les végétaux.
- Ruissellement de sub surface suit les cheminements préférentiels de l'eau pour atteindre un exutoire soit en profondeur (infiltration plus profonde), constitution de stocks au niveau des nappes perchées, évacuation par résurgence soit vers la surface, soit en réseau d'assainissement, soit en suivant la topographie jusqu'à la nappe alluviale,
- Infiltration plus en profondeur (par des engouffrements = communication entre différentes nappes).



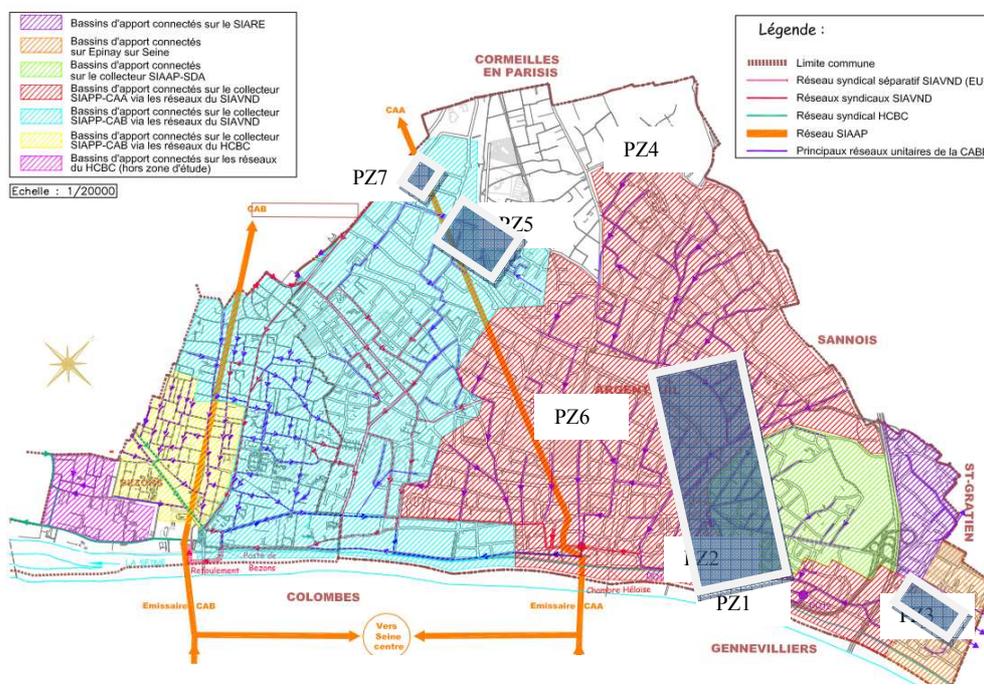
Par ailleurs, il a été étudié le battement des nappes afin d'estimer si l'installation des piézomètres a été judicieuse pour constater de la réactivité de la nappe (cf. tableau 13).

	Niveau nappe (m)	Battement nappe (m)	Latence observée (j)
PZ1	5	2,61	4
PZ2	3	0,22	1
PZ3	8	3,58	4
PZ4	7,15	X	x
PZ5	1,9	1,90	4
PZ6	7,5	X	x
PZ7	6	0,64	3

**Tableau 13 : Caractéristiques des 7 nappes rencontrées**

Du fait de l'absence de l'évolution des niveaux, certaines installations (PZ4 et PZ6) sont soit en tête de réseau, soit proche d'un point d'engouffrement, soit ne sont pas concernées par l'infiltration des eaux pluviales, soit ne font simplement pas partie du passage préférentiel des eaux. Ainsi les résultats constatés sur ces piézomètres ne peuvent permettre d'avoir des éléments d'interprétation sur les mécanismes de l'infiltration et les interactions entre nappes.

Compte tenu de la géologie d'Argenteuil, de la structure des sols, de la topographie, des variations de nappes observées, les informations sont vulgarisées. Il a été donc estimé des surfaces actives contributives à l'alimentation des nappes en figure 69.



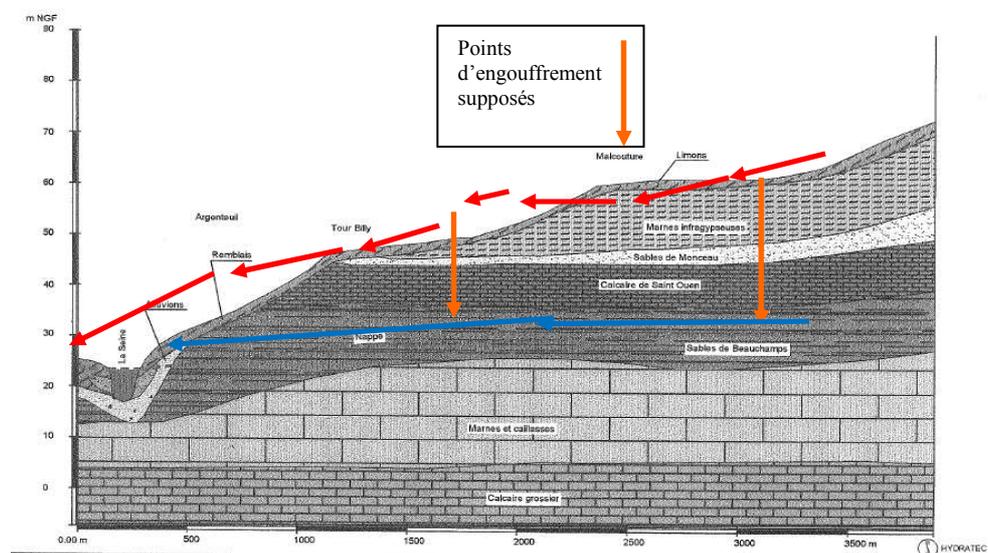
**Figure 69 : Estimation des aires d'alimentation des nappes de sub-surface**

Cette carte est une extrapolation (des aires d'alimentation) tenant compte de la topographie et de la variation des nappes. Mais pour que ces données soient plus sérieuses, il serait nécessaire de corrélater a minima la lame d'eau et la superficie de l'aquifère, pour définir les volumes en jeu.

Les piézomètres PZ4 et PZ6 n'ont pas été représentés du fait de l'absence de données, il a été conclu qu'il n'y a pas d'infiltration significative sur ces secteurs.

L'aire d'alimentation du PZ2 n'a pas été identifiée car ce dernier est essentiellement influencé par l'évolution du niveau de la Seine. Ceci est aussi vérifié par la latence de la nappe d'un jour, comme la Seine ; tandis que tous les autres PZ ont une latence de 3-4 jours.

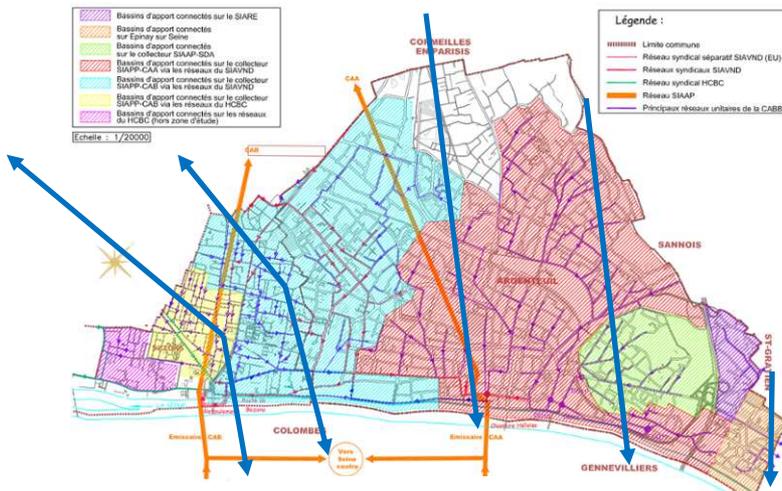
Les interactions entre les nappes perchées et les nappes plus profondes sont caricaturées par la figure 70, ci-dessous, mais non étudiées lors de cette étude.



**Figure 70 : Coupe géologique de l'alimentation des nappes profondes**

Cette ou ces interprétations ont été faites sur la base des conclusions des investigations de terrains : infiltration horizontale et évolution des niveaux piézométriques en fonction du temps.

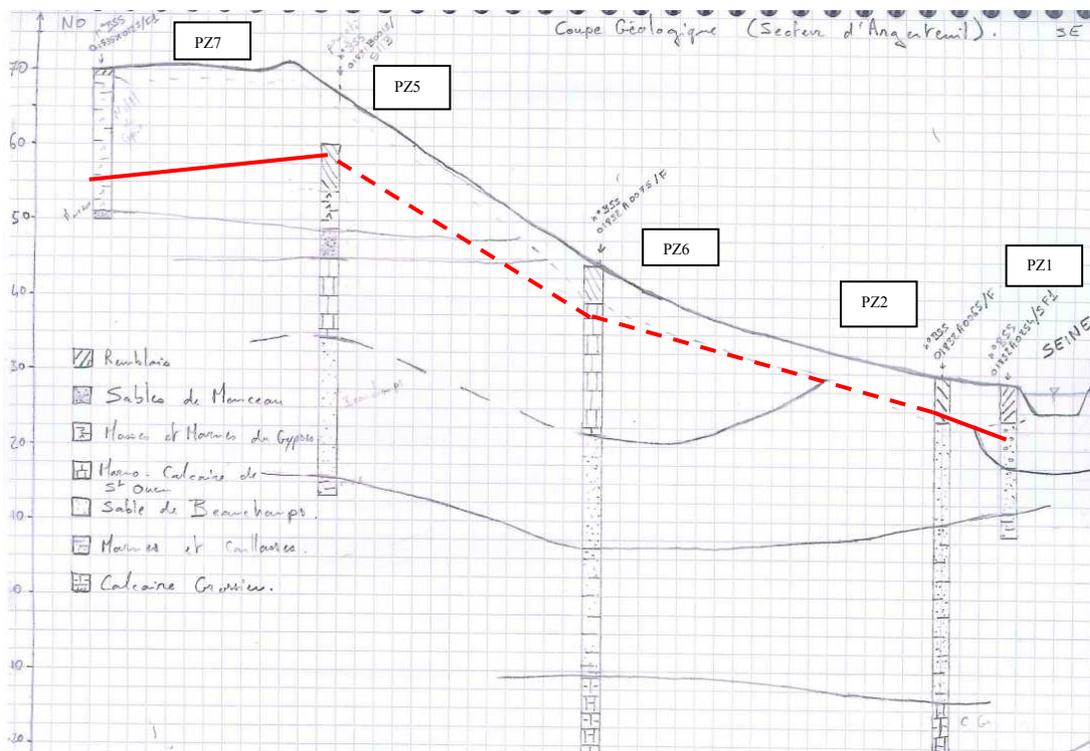
Les sens d'écoulement des nappes profondes décrits sur la figure 73 ont été définis suite à l'interprétation des figures 28 et 31.



**Figure 71 : bassin versant des nappes profondes (exemple de la nappe de Beauchamp)**

Des chemins préférentiels et points d'engouffrement restent à définir précisément. Ceci pourrait faire l'objet d'une prochaine étude et permettrait de mieux comprendre les réalimentations et les bassins d'alimentation de la nappe de Beauchamp (axes d'écoulements des eaux sur les figures ci-dessous).

En reprenant la coupe géologique de la figure 35, les niveaux piézométriques observés ont été reportés. Ceci permet d'essayer d'appréhender et d'estimer la philosophie les cheminements sous terrain (cf. figure 72).



**Figure 72 : Report du niveau de la nappe la plus affleurante pour les piézomètres 1, 2, 6, 5 et 7**

Etant donné qu'il n'y a pas eu de variation de niveau au PZ6, la continuité des nappes de sub-surface et les interactions n'ont pas pu être vérifiées.

En conclusion, bâtir aujourd'hui une démarche évolutive pour la collectivité permettra de répondre aux obligations réglementaires, tout en améliorant le cadre de vie des administrés.

Les facteurs de réussite de la démarche sont une bonne identification des contraintes, des objectifs bien définis et une communication permanente.

# IV. Discussion

D'une manière générale, la place de l'eau en ville est devenue dans le contexte actuel des collectivités locales, une préoccupation majeure.

Ainsi la place des techniques alternatives de gestion des eaux pluviales dans l'aménagement urbain reste une problématique réelle en vu d'urbanisation durable. Après avoir évoqué les concepts, les enjeux et le cadre d'application (1), ce chapitre mettra en évidence les méthodes, outils et exemples rencontrés (2).

## 1 Concepts, enjeux et cadre d'application

### 1.1 Les interprétations des investigations

Les investigations menées lors des deux expériences, riches d'enseignements, permettent d'obtenir plusieurs interprétations dans l'optique de la compréhension des mécanismes l'infiltration en milieu urbain.

#### 1.1.1 Constatation observées par la première expérience : PZ

La première expérience a permis d'élaborer les liens suivants :

- interaction entre les PZ1, PZ2 et la nappe alluviale de la Seine. Le PZ2 est certainement dans la nappe alluviale et le PZ1 se situe à l'intersection d'une nappe de versant et de la nappe alluviale,
- interaction du PZ3 avec une autre nappe (ou explication par phénomène extérieur),
- la Seine se montre réactive compte tenu de la pluviométrie locale, évolution dans les 24 heures tandis que les eaux de pluie avérés dans le sol se révèlent en 3-4 jours (= Temps de concentration qui permet le tamponnement des eaux),
- seuls les PZ1, 2, 3 et 5 se montrent intéressant en termes vulnérabilité / réactivité, interactions, ... La réactivité des nappes a été observée en fonction de la pluie et de la Seine. Mais les non évolutions (ou évolutions minimales) sur les PZ 4, 6 et 7 sont des informations en soit (pas de surface contributive et/ou pas de passage préférentiel des eaux).
- une définition des surfaces actives contributives de l'évolution des piézomètres a été proposée. La réflexion a été basée sur le fait que plus la variation est importante plus l'air d'apport est conséquente (interprétation contestable, à vérifier).

#### 1.1.2 Constatation observées par la deuxième expérience : Zones d'infiltrations

La deuxième expérience a permis d'élaborer les liens suivants :

- ruissellement de surface lorsque le sol est saturé
- lors des sondages de sol, il a été rencontré des substratums plus ou moins imperméables (tests Lefranc à -4 m indique des sols globalement peu perméables) qui induit une infiltration horizontale (ou ruissellement de sous sol). L'écoulement des eaux est régi par la gravimétrie et

l'imperméabilisation. Ceci induit que l'eau est isolée dans certaines couches, que ce soit des couches géologiques supérieures ou inférieures (sauf hétérogénéité du substratum qui réduit le temps de séjour et favorise la mobilité de l'eau)

- la voie SNCF a un rôle d'axe de drainage supposé
- des secteurs remaniés et hétérogènes ont été rencontrés. Ce qui a certainement eu une incidence sur le fait de ne pas constater de stocks d'eau dans les premiers centimètres du sol, compte tenu d'une compacité des sols. Si la matrice imperméable était aussi hétérogène, ceci induirait une infiltration verticale.

Cette expérience est plus contestable car les constatations ont été faites de visu. Cette méthode n'est pas très scientifique car non reproductible (imprécision de la méthode). Cet amateurisme est un compromis entre la mise en œuvre d'une méthodologie compliquée et le fait de vouloir des résultats exploitables.

Les mécanismes en jeu sont nombreux et complexes.

L'objectif de cette expérience pragmatique était de suivre un seul paramètre pour pouvoir l'interpréter.

### **1.1.3 Constatations observées par les deux expériences**

L'étude met en exergue de multiples mécanismes pas encore totalement maîtrisés (dû au fait que ce soit une étude ambitieuse). Les phénomènes observés sont complexes avec des mécanismes nécessitant d'être creusés : interaction entre nappe, chemin préférentiels, ...

Les deux expériences ont permis d'élaborer les liens suivants :

- présence de terrain hostile à l'infiltration issu du PPRMT,
- carte des cheminements préférentiels des eaux du sous sol proposées,
- carte d'infiltration des EP sur la commune d'Argenteuil,
- schéma hydrique proposé.

Il peut être discuté le chiffre de  $\Delta i$  21,9% (soit 49 026 m<sup>3</sup>= stock( $\Delta s$ ) + interactions entre nappes + exutoire surface) d'eau infiltrée au cheminement inconnu. Le résultat semble satisfaisant compte tenu du nombre d'inconnus. Le résultat nécessite d'être remis en question par les hypothèses de calcul des répartitions proposée par Mme BARRAUD (il ne s'agit pas des mêmes caractéristiques de bassin versant, la répartition des eaux est donc certainement différente) et l'infiltration des eaux dans le sol avec les différentes interactions non identifiées.

### **1.1.4 Bilan**

Cette étude reste intéressante. Elle a permis de confirmer des théories et apporte des éléments pour comprendre l'écoulement des eaux dans le sol.

Les paramètres pris en compte (en infiltration des eaux pluviales) pour définir les estimations de passage d'eau sont :

- la superficie des aires de collecte,
- la topographie,
- la pédologie,
- la géologie,
- l'occupation du sol,

- les axes d'écoulement.

Cette étude est une première étape à la compréhension du cheminement des EP en secteur urbanisé et est riche d'enseignement.

Face au dilemme entre infiltration et ruissellement et à l'ambiguïté de la réponse suivant les échelles d'observation de temps et d'espace, l'étude menée apporte des réponses. Ce qui sera infiltration pour le jardinier du dimanche, amoureux de son semis de radis, n'aura rien à voir avec les mouvements de stocks d'eau souterrains manipulés par l'hydrogéologue préoccupé de bilan à l'échelle décennale.

Sur les premières orientations de la zone d'étude d'Argenteuil, il est important de retenir de ces investigations qu'il s'agit de données, au cas par cas, liées aux conditions ponctuelles (locales et temporelles) d'un site donné.

Les cartes géologiques ne présentent pas des formations de surface, mais des formations proches de la surface. Il est rencontré presque partout de la terre végétale d'une épaisseur de 5 à 50 cm de profondeur en fonction du contexte local. La figure 73 est une coupe de sol où le recouvrement de terre végétale est de 40 cm.



**Figure 73 : Reconstitution d'une coupe de sol (terre végétale, colluvion et argiles)**

Ces premiers centimètres ne sont pas négligeables car c'est le lieu de mécanismes complexes (réactions biologiques, chimiques et physiques : évapotranspiration, adsorption,...) intervenant dans l'infiltration.

Les hétérogénéités lithologiques qui caractérisent de nombreuses formations géologiques ne sont pas toujours bien identifiées sur les cartes actuellement disponibles. Les cartes géologiques sont initialement levées sur des fonds topographiques à l'échelle du 1/25 000<sup>ème</sup>. La précision du report des limites d'affleurement est satisfaisante à l'échelle du 1/50 000<sup>ème</sup>. En revanche, il ne faut jamais perdre de vue qu'une carte géologique comporte une part de subjectivité liée à l'expertise propre de l'auteur. En particulier, les formations les plus superficielles peuvent faire l'objet d'interprétations diverses.

La présence de chemins d'écoulement préférentiels dans le sol conduit à une vitesse d'infiltration élevée. C'est le cas notamment pour les sols très argileux desséchés.

Il est indispensable de garder en tête des aspects qui sont peu évoqués dans cette étude mais qu'il ne faut pas négliger : le contexte local avec les activités, matériaux utilisés pour les toitures par exemple, occupation du sol dans la variabilité inter-événementielle et la gestion des pentes.

Il serait nécessaire de compléter les orientations constatées par des études à l'échelle de la parcelle. Ce serait une échelle adaptée à la naissance de projet d'infiltration des eaux pluviales.

Par ailleurs, il ne faut pas simplifier le sujet au risque de faire des raccourcis qui entraîneront la vulgarisation de l'information et une mauvaise interprétation. Paradoxalement, il ne faut pas, non plus, complexifier le sujet car la politique de toute étude sera un frein à la naissance de projet (cf. annexe 12 : infiltration en milieu urbain).

En parallèle, il serait nécessaire de mener une politique de communication afin de faire évoluer les mentalités d'acceptation de l'eau en ville. Cette démarche doit être acceptée par chaque acteur du cycle de vie (du concepteur à l'exploitant, des techniques, élus et particuliers).

**Le préalable à toute étude de faisabilité de l'infiltration, consiste à mener une étude bibliographique. Celle-ci permet d'évaluer le coefficient d'imperméabilisation, la topographie fine, la nature et l'état des sols, la vulnérabilité de l'habitat et l'état des nappes pour estimer l'impact du ruissellement de surface et de sub-surface.**

## **1.2 Bilan hydrique**

Il faut garder en mémoire que l'infiltration n'est pas un «phénomène de mode». Avant toute urbanisation, l'eau pluviale était gérée naturellement à la parcelle. Donc la mise en place de techniques alternatives est une sorte de dés-imperméabilisation ou de dé-raccordement. Mais, en général, ces mesures sont mineures, et arrivent à peine à compenser l'imperméabilisation.

Les interactions entre les domaines de la matrice du sol et les macropores ne sont pas négligeables puisque d'importants mouvements de transfert et d'échange existent entre ces deux milieux.

Le résultat des expériences a permis d'établir le bilan hydrique suivant (figure 74) :

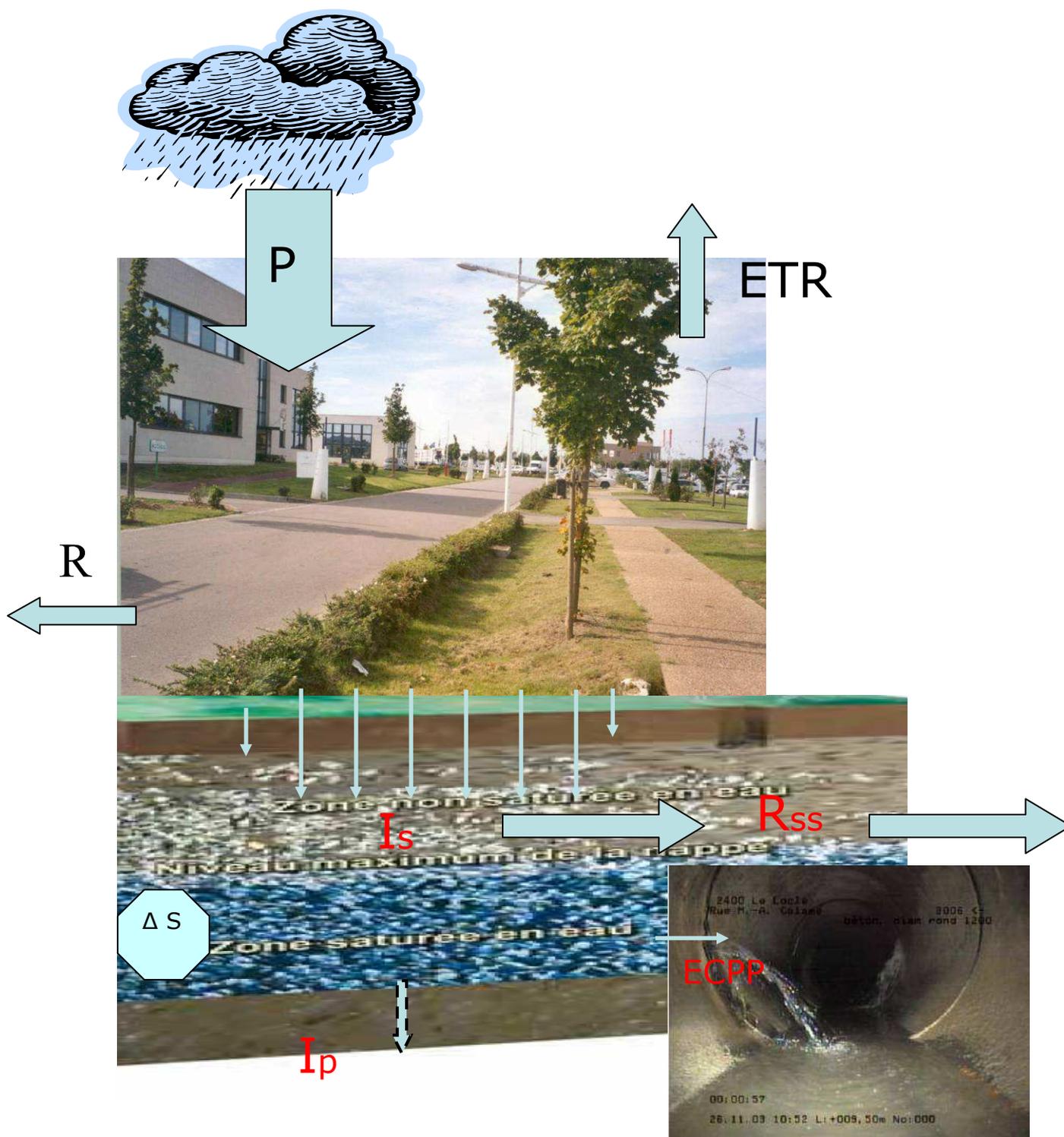


Figure 74 : Bilan hydrique simplifié

**Pluie = Ruissellement + évapotranspiration + Ruissellement + infiltration**

**Infiltration = infiltration de surface (ruissellement de sub-surface) + infiltration profonde - ECPP en réseau assainissement ± Δi**

$\Delta i = \text{stock}(=\Delta s) + \text{interactions entre nappes} + \text{exutoire surface}$

Inconnue :  $\pm\Delta s$ , interactions entre nappe et exutoires de surface (autre que le réseau d'assainissement qui joue le rôle de drain).

Il convient préalablement de rappeler que les conclusions des phénomènes observés sont propres aux sites investigués. Ces mêmes sites présentaient des caractéristiques hétérogènes propres à des terrains remaniés. La structure des sols conduit à poser quelques problèmes :

- la nature des écoulements dans le domaine matriciel - La continuité du domaine ne peut pas être assurée et de ce fait, il devient très délicat de préciser les conditions aux limites.
- la nature des écoulements dans le domaine des macropores - Le transport de l'eau dans les macropores peut véhiculer beaucoup d'eau, sans pour autant être saturés.
- les caractéristiques spatiales et temporelles du réseau des macropores - La variabilité spatiale et temporelle de la distribution des macropores peut poser un problème en ce qui concerne l'échelle des processus.

Après avoir détaillé concrètement les principales composantes des mécanismes appréhendés, ainsi que le contexte des contraintes qui l'entoure, il sera identifié la localisation et la nature des investigations à réaliser.

## 2 Méthodes outils et exemples

### 2.1 Orientations pour des études complémentaires

Il est nécessaire d'être conscient de l'ambition du sujet, ainsi les investigations menées peuvent sembler restreintes. L'impact financier est loin d'être anecdotique car la commune d'Argenteuil a subventionné ce projet à hauteur de 28.642 € HT (annexe 13 : dépenses liées à cette étude).

Cette présente étude avait 3 objectifs principaux : bilans des mouvements d'eau dans le sol, carte d'infiltration des EP et la gestion de l'eau dans les premiers centimètres.

Les investigations réalisées ont permis aussi d'émettre quelques préconisations pour d'autres essais d'infiltrations afin d'optimiser des analyses futures. Il paraît prudent de ne pas se contenter d'une seule méthode de mesure ni d'une seule interprétation, surtout si la méthode est sélective.

**Compte tenu du souhait d'Argenteuil de ne pas modifier leurs pratiques à court terme, il a été mis en relief les mécanismes en jeu à partir des deux modes expérimentaux, mis en œuvre, exposés dans la partie 3.**

Le métier du géotechnicien reste encore à ce jour un métier, soit peu connu, soit non retenu, dû à des coûts imprévus dans les phases de réflexion en amont.

Cependant, les mentalités sont en voie d'évolution. Il faut faire une distinction entre les différents protagonistes dans le domaine de l'eau, et entre les services

de l'Etat, les scientifiques et les entrepreneurs qui prônent le lobbying (vision non partielle).

Ceci explique qu'il y a beaucoup d'informations qui sont plus ou moins exploitables, ce qui entraîne une frilosité des acteurs locaux, ou a contrario une démarche extensive de la politique de l'infiltration.

Il convient de pousser plus loin la démarche et les études afin d'obtenir des outils pragmatiques et exploitables à l'avenir. Cette étape est nécessaire dans l'optique d'outils d'aides à la décision.

### **2.1.1 Etudes complémentaires**

La mise en œuvre des expérimentales liées à ce projet conduit à se poser des questions.

Ces interrogations mènent, entre autres, à appréhender les mécanismes en jeu.

Deux autres investigations de terrains ont été amorcées afin de compléter les éléments pour pouvoir interpréter la problématique de l'infiltration (méthodes présentées en annexe 14) :

- estimation du rôle de drain des réseaux d'assainissement en présence de nappe, en fonction de la pluviométrie,
- mise en place de lysimètres (envisagé initialement sur le secteur du SIARV).

Plusieurs orientations peuvent être prises dans le cadre d'études complémentaires :

- faire des analyses de perméabilité de sol (essai Matsuo ou essai en surface pour infiltration réelle facteur 100 à 1 000/ aux essais Lefranc et Porchet) sur l'ensemble de la ville, en travaillant en amont sur la grille d'interprétation. Il est nécessaire de se rapprocher du contexte local car la réalité du terrain permet d'obtenir des surprises souvent bonnes : là où les essais montrent des résultats ne permettant pas l'infiltration sur une zone expérimentale, le sol semble supporter l'absorption de l'eau. Ceci a pour but de travailler sur la carte d'infiltrabilité (à partir du diagramme de perméabilité. cf. annexe 15) de la commune,
- modélisation hydrogéologique de la zone d'étude,
- identifier les différents points d'engouffrement et le cheminement des eaux dans le sous sol pour estimer l'importance de fluctuation de la nappe, tenant compte des surfaces actives en jeu. Cette étape est envisageable par la multiplication des piézomètres pour observer le comportement des nappes et interpréter les interactions,
- la variabilité spatiale et temporelle de la teneur en eau dans le sol décrite par des profils hydriques successifs, représentant la distribution verticale des teneurs en eau dans le sol, à différents instants donnés. La surface comprise entre deux profils successifs, aux temps  $t_1$  et  $t_2$ , représente le volume d'eau par unité de surface stocké, ou perdu dans l'intervalle de temps.
- un ou deux sondage(s) profond(s) en zone de gypse (en fonction de la profondeur du gypse, arrêt du sondage dès qu'on quitte le gypse) => D'après la coupe géologique que nous avons, il faut s'attendre à 21 m (max) et 10 à 15 m de profondeur en moyenne si nos informations sont exactes, pour

envisager de prescrire des puits d'infiltration ou non (étape première de la faisabilité technico-économique).

Ces expériences permettront de compléter l'étude menée et de mieux comprendre les mécanismes en jeu et notamment les interactions entre le sol, les EP et les eaux de nappe.

Par ailleurs il est nécessaire d'avoir une vision pragmatique réaliste de l'infiltration des EP. Ainsi il serait nécessaire d'établir un protocole simplifié pour inciter à l'infiltration.

### **2.1.2 Ebauche de protocole pour des investigations de terrain recommandant l'infiltration ou pas à l'échelle de la parcelle**

Il convient d'être moins ambitieux et faire une analyse sur un point et non sur une zone d'étude. Il est préalablement indispensable de définir les protocoles précis. Ceci entraînerait une représentativité et une reproductibilité des mesures.

En outre, une étude géologique préliminaire des formations superficielles est nécessaire. Cette étude permettra de faire un choix parmi les différents cas proposés, et parfois d'expliquer la disharmonie des résultats. La carte géologique n'est pas un document exact. Il s'agit d'une approche naturaliste pour avoir un aperçu du contexte géologique.

Puis, il est nécessaire de cibler et définir les contraintes en amont et en aval par la situation technique [quantité (et qualité) des EP + argiles + nappes + ruissellement +...]. Ensuite, le contexte socio-économique est pris en compte, à travers des activités qui s'expriment dans la variabilité inter-événementielle.

Enfin, il sera nécessaire de faire des études de sol afin de déterminer la capacité d'infiltration (exemple : essais de Matsuo). Ces investigations permettront d'établir une cartographie nuancée des aptitudes des sols à l'infiltration. Il serait intéressant de relativiser et de proposer une démarche hiérarchisée en fonction des types de pluies considérées et des objectifs visés (inondation, pollution, réduction des volumes et/ou réduction des débits, etc.), ainsi que des rapports surface d'apport / surface d'infiltration, etc.

## **2.2 Mesures sur Argenteuil**

L'idée est de cibler l'échelle intéressante (parcelle, quartier, commune, ...) afin que les acteurs soient capables d'agir humainement et financièrement ; ainsi l'échelle des particuliers (zone pavillonnaire) peut être un compromis. A savoir : l'habitat individuel et continu représente 695,05 ha soit 45,6 % de l'espace urbain, ce qui pourrait être un enjeu non négligeable.

Le coefficient d'imperméabilisation de l'espace pavillonnaire est de 30 %.

Afin de pouvoir lancer matériellement les évolutions des mentalités ou savoir-faire, il est nécessaire de s'appuyer sur des documents d'urbanisme imposant la modification des pratiques (notamment dans la gestion des permis de construire).

Il faut tout de même tenir compte du fait que l'esquisse pédologique détermine la nature des sols, la capacité d'infiltration et les facteurs d'érosion des versants. Une étude complémentaire à l'échelle de la ville pourrait être réalisée en vue d'établir une carte d'infiltrabilité des eaux pluviales (outils d'aide à la décision).

A l'échelle des communes, il est indispensable de penser sur une logique de bassin versant, en essayant de se positionner le plus en amont pour limiter le ruissellement, via des solutions de gestion des eaux à la parcelle. Préalablement, il est nécessaire de croiser les besoins suite à une pluie de référence (résultat d'une modélisation) avec la carte des espaces disponibles en surface et enterrés.

De manière concrète et pragmatique, tout est réalisable ; tout aménagement est une question de priorité et de moyens (humains et financiers).

### 2.2.1 Actions à court terme

Avant toute chose, il convient de faire un bilan des contraintes observées sur la zone d'étude.

Les données de terrain ayant un impact sur l'infiltration sont :

- carte des sols rencontrés (gypses, carrières, ...) : figure 75
- type d'habitat : figure 76
- cartes des espaces libres permettant des aménagements (les corrélérer avec les besoins et les incapacités hydrauliques des réseaux d'assainissement).

Il est nécessaire de se focaliser sur les secteurs où des actions peuvent être menées de manière concrète et réalisables rapidement. Il serait donc judicieux d'amender les différents règlements d'assainissement pour s'orienter vers les techniques alternatives de gestion des EP au niveau des quartiers pavillonnaires afin qu'un maximum de surface soit géré à la parcelle (hors zone de gypse).

Voici une proposition, en figures 75 et 76, des zones identifiées représentant des contraintes pour l'infiltration. Il n'a pas été pris en compte la pollution du sol qui peut avoir une incidence sur l'infiltration.

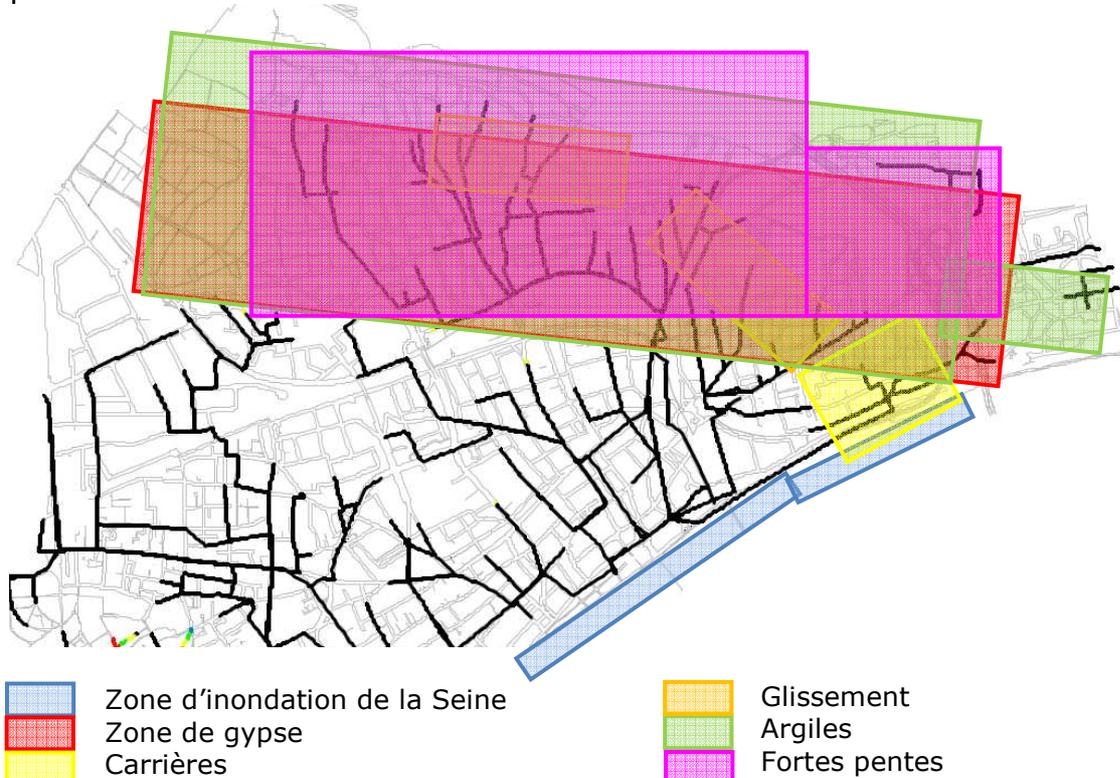


Figure 75 : Bilan des contraintes de sol observées sur Argenteuil pouvant limiter l'infiltration

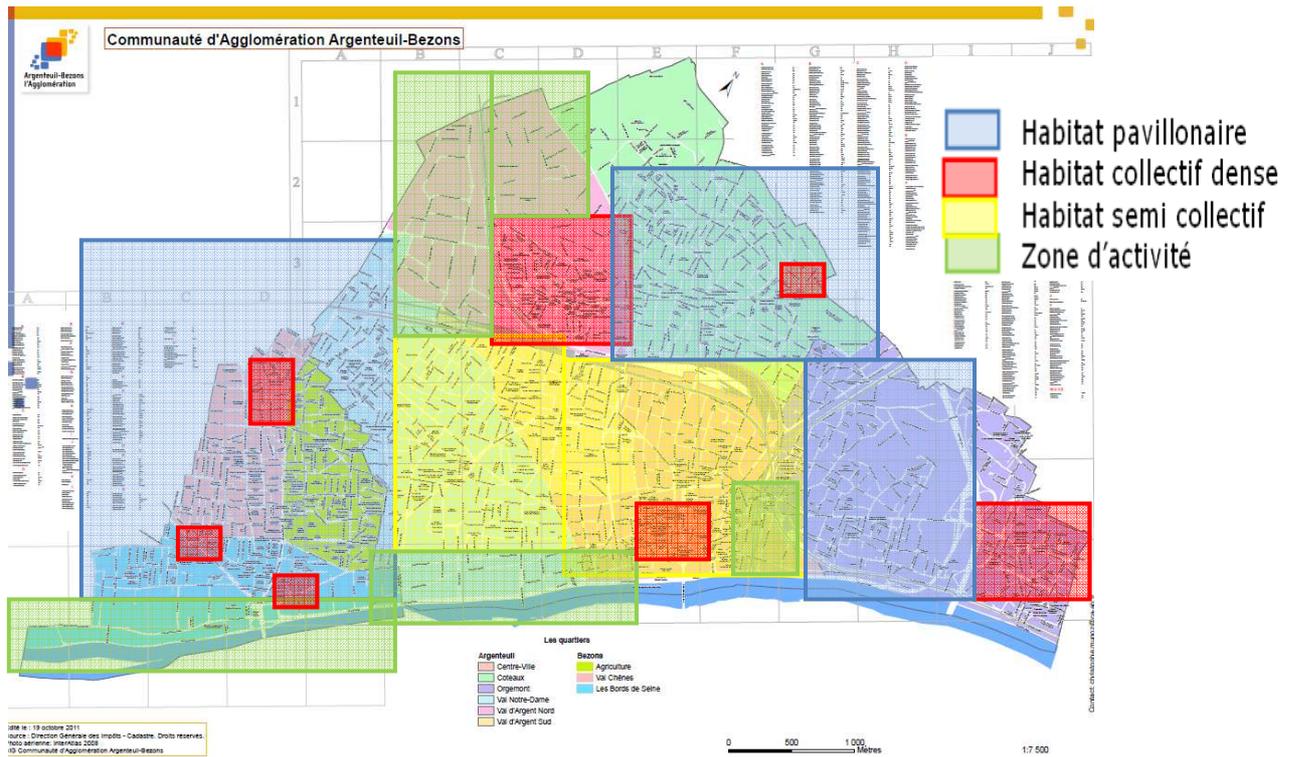


Figure 76 : Bilan des contraintes d'habitat observées sur Argenteuil

En fonction de l'habitat observé, il peut être envisagé plusieurs techniques alternatives. Cf. annexe 16 : proposition de mise en œuvre de techniques alternatives en fonction des contraintes. Il peut être envisagé de mettre en place des techniques combinées pour les aménagements de gestion des EP.

Ainsi ces cartes amènent à la carte simplifiée, figure 77, qui permet d'identifier une zone qui en première approche peut être propice à l'infiltration.

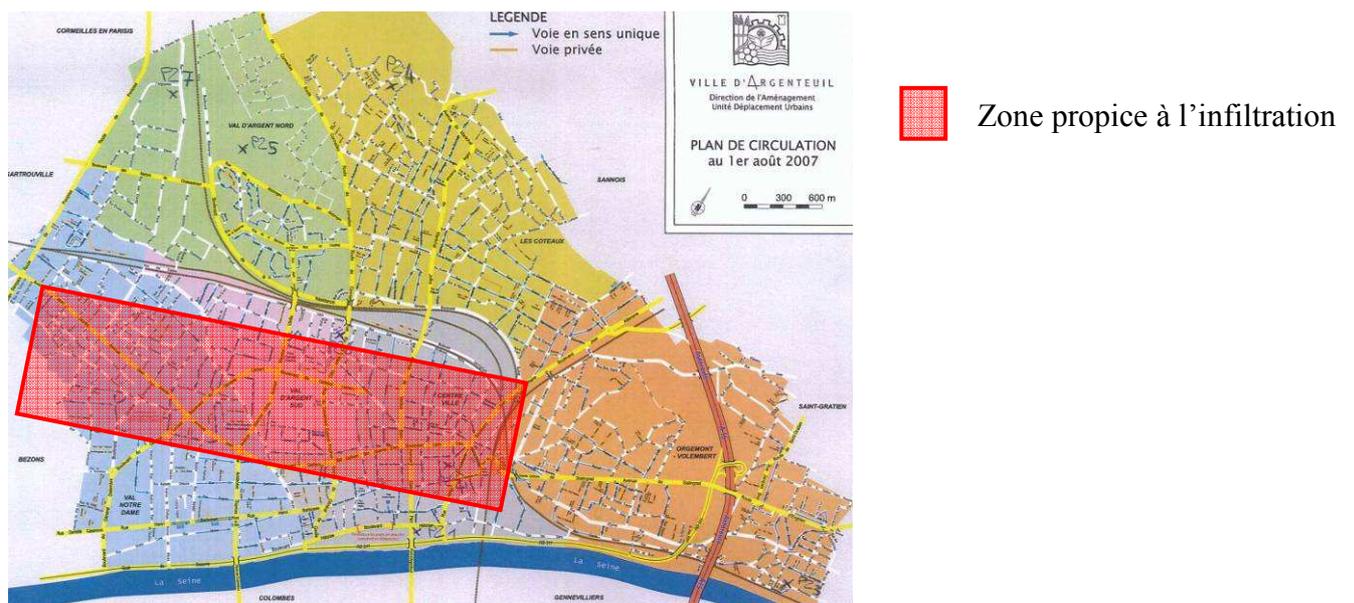


Figure 77 : Carte schématique des zones favorables à l'infiltration

Cette carte devrait être croisée à la carte des besoins en stockage des EP et à la carte d'infiltrabilité des sols pour obtenir une carte mieux adaptée aux besoins et aux sites. Dès lors, une carte à l'échelle des parcelles pourra être envisagée.

La carte des espaces disponibles nécessite une étude plus poussée au niveau de la direction de l'urbanisme pour vérifier les parcelles « disponibles » pour des aménagements de surface ou enterrés.

Il faut légitimer les investigations en incluant les orientations dans le zonage de gestion des eaux pluviales tenant compte de la capacité des sols à la rétention d'eau.

Il serait aussi intéressant de réaliser un modèle du ruissellement des EP pour estimer les risques des pollutions. A long terme, ce sera le facteur limitant dans les projets.

Il est nécessaire de conserver comme objectif de ne pas polluer les nappes plus profondes. Les points d'engouffrement ne sont pas identifiés car la nappe de Saint-Ouen a une forte porosité (même si elle n'est pas employée pour la consommation humaine).

La nappe du calcaire de Saint-Ouen (et des Sables de Beauchamp) et la nappe du Lutétien sont deux nappes présentent à un niveau d'équilibre comparable, en relation avec la cote de la Seine.

Il est indispensable de communiquer pour sensibiliser les différents acteurs locaux allant du riverain, à l'industriel, à l'aménageur, jusqu'à la commune et aux structures intercommunales.

### **2.2.2 Actions à long terme**

Il est fondamental de modifier les documents d'urbanisme. La commune doit se prémunir en embauchant du personnel compétent et sensibilisé sur la problématique de la gestion des EP, en mettant les moyens humains et financiers pour que ce système puisse être pérenne.

Il peut être inséré, dans le système d'information géographique (SIG), des cartes d'aléa qui pourraient servir dans plusieurs cadres :

- permettre d'élaborer des zonages réglementaires plus précis que le zonage actuel du PLU issu du porté à connaissance préfectoral,
- permettre l'information la plus complète et la plus large possible des acteurs de la construction et des citoyens,
- préconiser directement des règles de construction dans le PLU.

Le SIG permet de représenter matériellement le patrimoine historique de la commune, centralisant des données géologiques, pédologiques, climatologiques, hydrologiques et topographiques.

Il peut aussi être mis en place un outil d'aide à la décision avec une carte de l'infiltrabilité des eaux pluviales, en réalisant des essais d'infiltration immédiate avec une pluie de référence sur un temps donné (exemple 36 mm sur 2 h). Il est nécessaire de tenir compte essentiellement du risque géotechnique que pourrait engendrer un afflux d'eau ponctuel :

- accroissement de la pression interstitielle dans les argiles qui tapissent les versants et augmentation du risque de glissement et de résurgence incontrôlée à l'aval,
- présence de gypse : les eaux pluviales sont exemptes de sulfate et par conséquent, très agressives par rapport à ce minéral.

Le gypse est soluble dans l'eau à raison de 2,2 g/l. Cette propriété est largement démontrée à l'occasion de fuites de réseaux qui, dans le cas de conduites d'eau en particulier, génèrent rapidement des cavités.

### **Qu'est ce que la carte (ou cadastre) d'infiltrabilité ?**

Le concept ne repose pas sur une infiltration immédiate, mais sur la mise en œuvre d'un volume de rétention qui correspond à une pluie de 36 mm. Il pourra s'agir de noues, de fossés, d'éléments circulaires en béton, etc. Ce principe ne nécessite donc pas la présence d'une perméabilité importante mais demande cependant la réalisation d'essais préalables.

Il a été ciblé deux familles d'ouvrages d'infiltration dont le comportement sera de nature physique différente. Par convention, ces deux familles sont :

- **les ouvrages d'infiltration intéressant les terrains superficiels** : puisards, noues, bassins d'infiltration employés pour infiltrer les eaux dans des sols non saturés. L'hydraulique des sols non saturés relève encore essentiellement de la recherche et que l'approche adoptée ici est uniquement qualitative.

Par sécurité de tels ouvrages devront être distants d'au moins 5 m des bâtiments (l'entraînement de particules peut générer de faibles tassements ponctuels autour de l'ouvrage).

- **les ouvrages d'injection** : il s'agit de puits forés profonds descendus jusqu'à des horizons perméables. Ces ouvrages ponctuels dont la profondeur peut atteindre 10 à 20 m intéressent des horizons très perméables situés sous la nappe et par définition des sols saturés dont l'hydrodynamique est connue. Ces ouvrages sont intéressants en cas d'emprise foncière limitée.

En conclusion, de plus en plus, les aménageurs sont conscients de l'importance de la gestion de l'eau en ville. Les enjeux représentent une stratégie qu'il faut aborder de façon globale à l'échelle des bassins versants.

Il convient de définir les outils d'aide à la décision, tout en intégrant une communication permanente dans le cycle de vie du projet. Ces éléments sont les facteurs clés de la réussite de la démarche.

Dans un contexte urbain très marqué en France, l'infiltration des EP donne une nouvelle dimension économique et technique en intégrant le développement durable.

# Conclusion

Les précipitations se décomposent en ruissellement, en infiltration et en évapotranspiration. Le degré d'infiltration de l'eau pluviale est corrélé à la composition des sols et à l'impact des infrastructures humaines. L'étude met en évidence la complexité des phénomènes en jeu et les interactions encore méconnues en termes de cycle de l'eau.

Les investigations menées permettent de conclure que l'infiltration des EP en secteur urbain a une influence sur le niveau des nappes en certain point de sol.

Cette présente étude a permis de répondre partiellement à deux objectifs : proposer un bilan hydrique (non quantitatif) et proposer une carte d'infiltration des EP simplifiée sur la commune d'Argenteuil. Mais les investigations n'ont pas permis d'étudier le cheminement des eaux pluviales dans les premiers centimètres du sol compte tenu du contexte de site fortement remanié et hétérogène. L'infiltration peut se résumer en trois phénomènes : l'évolution de l'humidité du sol, l'infiltration verticale (en profondeur) et l'infiltration horizontale (avec des axes de drainage).

Vu la position géographique de ces essais en bordure de Seine, une interaction notable a été constatée entre les nappes de surface et le niveau de la Seine pour les piézomètres localisés autour de 600m de la rive.

A ce titre, l'infiltration présente plusieurs intérêts dont celui de réserve d'eau et de recharge des nappes phréatiques. La fonction de tampon permet de lisser une arrivée d'eau massive au milieu naturel (masse d'eau superficielle).

**Il a été exploré différentes méthodes. L'objectif de cette étude est de faire progresser la recherche dans le domaine de l'hydrogéologie urbaine. Naturellement, ce travail présente plusieurs limites liées essentiellement à la complexité même du sujet qui est au carrefour de nombreuses sciences empiriques.**

En milieu urbain, les phénomènes naturels et anthropiques sont intimement liés. La vulgarisation de ce sujet ne doit pas conduire au développement systématique de l'infiltration, mais plutôt à l'adaptation des aménagements en fonction des conditions de site, et de l'aptitude des sols à la rétention des eaux.

La principale recommandation est de favoriser l'émergence de projets d'infiltration cohérents, adaptés aux spécificités locales et aux besoins des parties prenantes. Cela passe avant tout par l'identification des motivations, des rôles, des difficultés et des besoins des acteurs effectifs et potentiels connus.

La sensibilisation récente des citoyens sur les enjeux de développement durable aura-t-elle pour conséquence de transformer l'urbanisation en une désurbanisation permettant une gestion des eaux pluviales par site plus naturelle et moins intensive ?

# Bibliographie

## Ouvrages

AZZOUT Y., BARRAUD S., CRES F.N., ALFAKIH E. - Techniques alternatives en assainissement pluvial, Choix, conception, réalisation et entretien (Edition Tec & Doc – Lavoisier, 372 p., 1994).

BALADES J-D. & Al. - Techniques alternatives aux réseaux d'assainissement pluvial, Edition Collections du Certu (Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques, 153 p., 1998).

BERTRAND-KRAJEWSKI J.-L., LAPLACE D., JOANNIS C., CHEBBO G., - Mesures en hydrologie urbaine et assainissement (Editions Tec & doc, 746 p - cf. page 19, 2000).

BRGM - Guide géologique régional Bassin de Paris (2006).

BRGM - Aquifères et eaux souterraines en France (944 p.).

CASTANY G. - Principes et méthodes de l'hydrogéologie. (Dunod, 1979).

CERTU (Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques) – Mémento pour la gestion des projets d'assainissement – (2001).

CERTU (Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques) - La ville et son assainissement, Principes, méthodes et outils pour une meilleure intégration dans le cycle de l'eau – (503 p., 2003).

CHOCAT B. & Al. - Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement (Edition Tec & Doc, Lavoisier, 1124 p., 1997).

CHOCAT B. - Le rôle possible de l'urbanisation dans l'aggravation du risque d'inondation : l'exemple de l'Yzeron - Lyon (INSA Lyon 274 p., 1997).

CONSEIL GENERAL - l'Atlas du Val d'Oise (1998).

DUCHAUFOR P. - Pédologie (Masson, 1991).

LAMBERT R. - Géographie du cycle de l'eau. (P.U.M. Toulouse, 1996).

MUSY A., HIGY, C.- Hydrologie Appliquée (Edition HGA Bucarest, 1998).

SANDERS L.L. - A manual of field hydrogeology (Prentice Hall, 1998).

STAHR P., URBONAS B. - Stormwater detention for drainage, water quality and CSO management. Englewood Cliffs, New Jersey, USA: Ed Prentice Hall, 338 p, 1993).

VALIRON F., TABUCHI J.-P., - Maîtrise de la pollution urbaine par temps de pluie, Etat de l'art (Edition Tec & Doc – Lavoisier, 564 p., 1992).

## **Articles**

BEDELL, NETO, DELOLME, GHIDINI, PERRODIN, KINIASKI – Techniques et stratégies durables pour la gestion des eaux urbaines pas temps de pluie - Etude des paramètres physico-chimiques et biologiques du sol d'un bassin d'infiltration 1469-1477 (Novatech', 2004).

WINIARSKI, DELOLME, GHIDINI, PERRODIN, – Distribution spatiale des paramètres physico-chimiques et biologique le long d'un profil de sol d'un bassin d'infiltration d'eaux pluviales de la ville de Lyon ». Dans NOVATECH (2001) volume 2, p. 751.758.

BERDIER et TOUSSAINT - Techniques et stratégies durables pour la gestion des eaux urbaines par temps de pluie - Acceptabilité des ouvrages alternatifs d'assainissement des eaux pluviales par infiltration 335-341 (Novatech', 2007).

GANAYE, WINIARSKI, GOUTALAND – Techniques et stratégies durables pour la gestion des eaux urbaines pas temps de pluie - Impact d'un bassin d'infiltration d'EP sur sa zone non saturée 835 -843 (Novatech', 2007).

GROTTKER, ALBOLD, OLDENBURG - Techniques et stratégies durables pour la gestion des eaux urbaines par temps de pluie - L'assainissement pluvial sans réseau 821-829 (Novatech', 2004).

LASSABATERE, WINIARSKI, GALVEZ, CLOUTIER - Techniques et stratégies durables pour la gestion des eaux urbaines par temps de pluie - Utilisation de géotextile en fond de bassin d'infiltration 1269-1277 (Novatech', 2004).

LE MONITEUR – Eau : Le temps d'un bilan (111 p. juillet 2004).

MALARD, DATRY, BOUGER – Techniques et stratégies durables pour la gestion des eaux urbaines par temps de pluie - Le suivi de la qualité des eaux souterraines à l'aplomb d'un bassin d'infiltration 713-721 (Gibert, Novatech', 2004).

RAIMBAULT Georges, ANDRIEU Hervé, BERTHIER Emmanuel, JOANNIS Claude, LEGRET Michel - Infiltration des eaux pluviales à travers les surfaces urbaines - Des revêtements imperméables aux structures-réservoirs, (Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées – 238 – Réf. 39-50, Mai-Juin 2002).

MOURA P., BARRAUD S., BAPTISTA M.,, Annales du Bâtiment et des Travaux Publics, 6, 2006. « Procédure multicritère pour la conception et le suivi des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales ». p. 59-63.

## **Mémoires**

CHEBBO. G - *Solides des rejets pluviaux urbains, caractérisation et traitabilité*. Rapport de thèse ENPC. Paris, 1992.

CAVAILLES E - Les techniques de contrôle des flux de polluants dès la source du ruissellement : retour d'expérience technico-économique en Ile-de-France (114 p., juin 2007).

DECHESNE M. - *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, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, Lyon. 2002

CHAMOIX C. - *Techniques alternatives en assainissement pluvial : de la théorie à la pratique* (Mémoire de thèse, Université Nice Sophia Antipolis et CNRS, 499 p., 2003).

GAUTIER.A.. *Contribution à la connaissance du fonctionnement d'ouvrages d'infiltration d'eau de ruissellement pluvial urbain*. Thèse de doctorat, INSA Lyon, France (1998). 248 p.

## **Etudes**

AIRES Nadine - *Les techniques de traitement des eaux pluviales associées aux techniques alternatives* (AESN 17 p., nov-1999).

BAKALOWICZ Michel - *Expérience de colorations et traçages artificiels des eaux* (2004).

CITEAU L. - *Transferts eaux-sols-plantes de micropolluants : état des connaissances et application aux eaux de ruissellement urbaines* (Rapport INRA, LCPC, Cereve, INSA Lyon pour l'AESN, 2005).

MUSKAT.M. *The flow of homogeneous fluids through porous media*, Mc-Graw Hill book company. 1946

POLUBARINOVA-KOCHINA. P.Y. - *Theory of Ground-Water Movement*. Translated from Russian by J.M. DeWiest. Princeton, New Jersey: Princeton University Press. 1964.

Composante Urbaine / DEA 93 – *Etude des potentialités de récupération des eaux pluviales dans le cadre de la prévention des inondations* (mars 2008).

FOUCHE O. et HIRSHAUER A. - *Variations de la nappe phréatique et cartographie de l'infiltrabilité des sols sur le territoire de la Seine-Saint-Denis* (2007).

Guide technique – Recommandations pour la faisabilité, la conception et la gestion des ouvrages d’infiltration des eaux pluviales en milieu urbain (Janvier 2006).

Office Fédéral de l’Environnement, des Forêts et du Paysage OFEFP – Instructions pratiques pour la protection des eaux souterraines (133 p., 2004).

Office Fédéral de l’Environnement, des Forêts et du Paysage OFEFP - Où évacuer l’eau de pluie ? (60 p., 2000).

Office Fédéral de l’Environnement, des Forêts et du Paysage OFEFP - Dimensionnement des aires d’alimentation Zu (33 p. 2005).

OTHU - Auto-épuration des rejets urbains de temps de pluie par les bassins d’infiltration (4 p. 2006).

SAFEGE - Schéma directeur d’assainissement d’Argenteuil (1998).

Direction Départementale de l’Équipement et de l’Agriculture du Val d’Oise, 2010. « Plan de Prévention des Risques de Mouvement de Terrain. Commune d’Argenteuil ». 83 p.

Techni.Cités, 2010. « Fiches pratiques techniques. Gestion des eaux pluviales ». 8 p.

Groupe de travail régional sur la prise en compte des eaux pluviales à l’échelle des bassins versants, animé par le GRAIE, 2009. « Guide pour la prise en compte des eaux pluviales dans les documents de planification et d’urbanisme ». 81 p.

Programme de recherche Ecopluies, 2009. « L’infiltration en questions. Recommandations pour la faisabilité, la conception et la gestion des ouvrages d’infiltration des eaux pluviales en milieu urbain ». 63 p. Téléchargeable sur : [http://www.graie.org/ecopluies/delivrables/55729e\\_guidemodifie\\_20090203fin6-2.pdf](http://www.graie.org/ecopluies/delivrables/55729e_guidemodifie_20090203fin6-2.pdf)

MOURA P., BARRAUD S., BAPTISTA M.B., European Journal of Environmental and Civil Engineering, 12 (6), 2008. « Méthodologie multicritère d’aide à la décision pour les systèmes d’infiltration des eaux pluviales : méthodes et exemples ». p. 687-700.

Prunier Leparmentier A-M., David O., Schönberg M., 2007. XIV<sup>èmes</sup> journées techniques du Comité français d’hydrogéologie. « Dissolution du gypse à Paris : efficacité et carences de la réglementation ». 10 p.

DE GOUVELLO B. (CSTB), NOEUVEGLISE M. (ARENE), 2007. « Récupération et utilisation de l’eau de pluie dans les opérations de construction. Retours d’expériences et recommandations. » 33 p.

Communauté d’Agglomération du Grand Toulouse, 2006. « Guide de gestion des eaux de pluie et de ruissellement ». 101 p.

Région Rhône-Alpes, Agence de l'eau RM&C, CERTU, GRAIE, Grand Lyon, INSA de Lyon, P.Pionchon, SINT, 2006. « Pour la gestion des eaux pluviales. Stratégie et solutions techniques ». 32 p.

Agence de l'Eau Artois Picardie, 2004. « Vers une nouvelle politique de l'aménagement urbain par temps de pluie. ». 58 p.

Missions inter-services de l'eau, 2004. « Guide méthodologique pour la prise en compte des eaux pluviales dans les projets d'aménagement ». 68 p.

Cemagref, 2004. « Le ralentissement dynamique pour la prévention des inondations. Guide des aménagements associant l'épandage des crues dans le lit majeur et leur écrêtement dans de petits ouvrages. » 131 p.

Safege, 2007. « Etude de faisabilité hydraulique d'un zonage pluvial à Paris »

COmité du Bassin Hydrographique de la Mauldre et de ses Affluents et Commission Locale de l'Eau de la Mauldre. « Comment réguler et traiter les eaux pluviales ? ». 14 p.

MEDD – CERTU, 2003. « La ville et son assainissement. Principes, méthodes et outils pour une meilleure intégration dans le cycle de l'eau ». Cédérom. Téléchargeable sur : [www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/Ville\\_assainissement\\_so.pdf](http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/Ville_assainissement_so.pdf)

PIEL C., PEREZ I., MAYTRAUD T. (1998), « Trois exemples d'espaces inondables : une application du développement durable », NOVATECH

MOUY N., DUGUET P., LAURENT C., 2007. « Faisabilité hydraulique du zonage pluvial à Paris ». Novatech, 8p

VUATHIER J., FRIESS L., GATIGNOL B., SOULIER M. (2004), « Limitation des rejets d'eau pluviale à la parcelle en milieu urbain », Novatech, 8p.

STBA, Fiche n°14, Octobre 2000. « Eau et Aéroports. Conception et dimensionnement des réseaux de drainage des aérodromes. Fiches d'ouvrages. » 57 p.

OFEFP (Office Fédéral de l'Environnement, des Forêts et du Paysage, Berne), 2000. « Où évacuer l'eau de pluie ? Exemples pratiques. » 60 p.

Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Agences de l'eau, 1998. « Les structures alvéolaires ultra légères (SAUL) en assainissement pluvial. » 87 p.

Lamachère J.M., BRGM, 1971. « Mesure « in-situ » de la perméabilité d'un sol non saturé ». 77 p.

Fiche technique OTHU n°1. « Mesures de la pollution des sols issue des rejets urbains de temps de pluie ». 2 p.

Fiche technique OTHU n°9. « Indicateurs de performance de stratégies d'assainissement pluvial par infiltration : Analyse critique ». 2 p.

Fiche technique OTHU n°10. « Auto-épuration des rejets urbains de temps de pluie par les bassins d'infiltration ». 2 p.

Fiche technique OTHU n°11-1. « Éléments sur le colmatage des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales ». 2 p.

Fiche technique OTHU n°11-2. « Nouveaux éléments sur le colmatage des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales ». 4 p.

Fiche technique OTHU n°8. « Caractérisation des fonds de bassin d'infiltration : nouveaux paramètres physico-chimiques et microbiologiques ». 2p.

DEMARCIN P., SOHIER C., Ilah Mokadem A., Dautrebande S., Degré A., 2010. « Essai de cartographie des classes d'infiltrabilité des sols de Wallonie (Belgique). » 10 p.

DISE (Délégation InterServices de l'Eau Seine-Maritime), décembre 2009. « Aires d'infiltration des stations d'épuration. Guide de conception et de gestion ». 56 p.

GUILLOU A., ROUX C., Bertand C., Pierlot D., 2010. « Cartographie de l'infiltrabilité à l'échelle du Département des Hauts-de-Seine (170 km<sup>2</sup>) pour l'aide au choix d'une technique de maîtrise des eaux pluviales à la source ». 9 p.

CHATAIGNON S., INSA de Strasbourg, 2006. « L'hydraulique souterraine pour l'étude géotechnique ». 58 p.

BARRAUD S., 2006. « Quatre ans de recherche urbaine 2001-2004. Chapitre : Construction d'indicateurs de performances technique, économique et environnementale des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales en milieu urbain ».

BARRAUD S. (coordonnateur), Le Coustumer S., Perrodin Y., Delolme C., Winiarski T., Bedell J.P., Gibert J., Malard F., Mermillod Blondin F., Gourdon R., Desjardins V., BreLOT E., Bacot L., 2006. « Guide technique : Recommandations pour la faisabilité, la conception et la gestion des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales en milieu urbain ». 62 p.

## **Conférences**

AESN et Ministère de l'Environnement, Direction de l'Eau - Phénomènes liés à la pollution et inondation (71 p. Dijon Séminaire du 24 mars 1994).

BARRAUD Sylvie - Aménagement et eaux pluviales pour des opérations durables (192 p. INSA Lyon, conférence du 12 juin 2008 au grand Lyon).

DESBORDES M. - Emergence de l'hydrologie urbaine, le poids de la demande sociale, Colloque International OH2 « Origines et Histoire de l'Hydrologie » (9 p. Dijon 9-11 mai 2001).

GRAIE - Gestion de l'eau à l'échelle des bassins versants : Que fait-on des eaux pluviales ? (Salle des Fêtes (01) Péronnas, Jeudi 15 décembre 2005).

KARANJAC - Some facts about population and ground water (Athens, Greece, 1997).

LE NOUVEAU Nathalie - Ouvrages de gestion des eaux pluviales - Étude d'opportunité de normalisation CETE de l'Est (14 p., 11 décembre 2008).

Cycle des conférences Aménagement durable et eaux pluviales, 25 juin 2009. « Conception et gestion de l'espace public ». 105 p.

2<sup>ème</sup> Journées de l'eau de l'Assemblée des Pays de Savoie, 26 et 27 mai 2009. « Les eaux pluviales dans l'aménagement ». 116 p.

Pays de Grand Lieu, Machecoul. Journée « Eau et urbanisme », 17 février 2006. « Synthèse des débats de la journée « Eau et urbanisme » ». 39 p.

BALADES Jean-Daniel, CETE du Sud-Ouest, 23 octobre 2003. Conférence « La ville et son assainissement ». « Principes, méthodes et outils. » 62p.

### **Sites Internet (Consultés 05-2009)**

<http://www.lemoniteur-expert.com>  
<http://www.legifrance.gouv.fr>  
<http://www.equipement.gouv.fr>  
<http://www.graie.org>  
<http://www.arehn.asso.fr>  
<http://www.adopta.free.fr>  
<http://www.adivet.net>  
<http://www.smbvas.fr/index.php/content/blogsection/6/136/>  
<http://www.ecologie-urbaine.org/Eau-pluviale.html>  
<http://www.argiles.fr/>  
<http://diren-idf-eaux-souterraines.brgm.fr/>  
<http://www.brgm.fr/>  
<http://www.brgm.fr/brgm/divers/nappes.htm>  
<http://www.adeseaufrance.fr/>  
<http://members.unine.ch/philippe.renard/hydrogen/node38.html>  
<http://infoterre.brgm.fr/viewer/MainTileForward.do>  
<http://echo.epfl.ch/e-drologie/>  
<http://www.inondationsnappes.fr/donneesDownload.asp?DPT=www.agora21.org/environnement.html>  
[www.unine.ch/chyn/RENARD/hydrogen/hydrogen.html](http://www.unine.ch/chyn/RENARD/hydrogen/hydrogen.html)  
<http://www.carteleau.org/>  
<http://basias.brgm.fr>  
<http://basol.ecologie.gouv.fr/>

## Glossaire

### Aléa

Phénomène entrant dans le domaine des possibilités, donc des prévisions sans que le moment, les formes ou la fréquence en soient déterminables à l'avance. Un aléa naturel est la manifestation d'un phénomène naturel. Il est caractérisé par sa probabilité d'occurrence (décennale, centennale, etc.) et l'intensité de sa manifestation (hauteur et vitesse de l'eau pour les crues, magnitude pour les séismes, largeur de bande pour les glissements de terrain, etc.).

### Anthropique

Fait par l'être humain ou dû à l'existence et à la présence de l'être humain.

### Aquifère

Volume de roche saturé en eau, poreux et perméable, dont l'étendue et l'épaisseur autorisent une exploitation des eaux souterraines. Sa limite supérieure correspond au niveau piézométrique le plus élevé que la nappe d'eaux souterraines puisse atteindre. Un aquifère est constitué soit de roches meubles (gravier, sable, etc.), soit de roches consolidées – fissurées ou karstiques (calcaire, dolomie, etc.).

### Auto épuration

Ensemble des processus biologiques et physico-chimiques par lesquels une rivière est capable de dégrader, sans altération majeure de sa qualité, la pollution qu'elle reçoit. Un seuil de tolérance existe toujours, au-delà duquel la quantité trop forte d'une pollution reçue bouleverse l'équilibre du cours d'eau qui perd alors ses qualités biologiques initiales.

### Bassin hydrogéologique

Zone d'où proviennent les eaux souterraines qui s'écoulent dans un aquifère en direction d'un même exutoire. Le bassin hydrogéologique ne comprend pas le bassin versant des eaux superficielles qui lui seraient liées au plan hydraulique.

### Bassin hydrologique

Zone délimitée par des lignes de partage des eaux, d'où proviennent les eaux souterraines et superficielles qui s'écoulent vers un même exutoire ou une même station.

### Bassin versant

Le **bassin versant** (Voir bassin hydrologique et bassin hydrogéologique) est un secteur géographique qui est limité par les lignes de crêtes ou ligne de rencontre des versants vers le haut ou encore ligne de partage des eaux. Dans un bassin, toutes les eaux qui ruissellent en surface sont recueillies par une seule ligne d'écoulement.

Le **sous-bassin** est une section de bassin située séquentiellement de l'amont vers l'aval. A chaque sous-bassin correspond un secteur élémentaire d'étude pour le calcul des débits et il est constitué d'une ou plusieurs zones.

La **zone** est une aire qui a des caractéristiques spécifiques, comme par exemple un coefficient de ruissellement constant, une occupation des sols ou une activité homogène.

Le **talweg** est la rencontre des versants vers le bas, c'est la ligne où aboutit toute l'eau, d'où qu'elle vienne dans le bassin. L'écoulement dans un talweg peut être naturel, à ciel ouvert, (fossés, canaux) ou par canalisations enterrées. Plus petite zone de dépression ou en creux détectable sur les courbes de niveau des cartes au 1/25.000<sup>ème</sup> de l'IGN.

### **Battance**

Phénomène par lequel un sol, où dominant les sables fins et les limons, se tassent sous l'effet de pluies favorisant ainsi le ruissellement.

### **Biologie (Traitement)**

Mode d'épuration dans lequel les êtres vivants interviennent pour éliminer la pollution. Ex. bactéries se nourrissant de la matière organique dissoute dans l'eau, dans une station d'épuration à boues activées.

### **Capacité d'emmagasinement**

Quantité d'eaux souterraines exploitable (libérable de manière gravitaire) dans un aquifère.

### **Capacité d'écoulement**

Volume d'eaux souterraines écoulé pendant une unité de temps à travers une section transversale déterminée de l'aquifère, dans des conditions hydrogéologiques données.

### **Capacité d'infiltration**

La capacité d'infiltration ou capacité d'absorption (ou encore infiltrabilité) représente le flux d'eau maximal que le sol est capable d'absorber à travers sa surface, lorsqu'il reçoit une pluie efficace ou s'il est recouvert d'eau. Elle dépend, par le biais de la conductivité hydraulique, de la texture et de la structure du sol, mais également des conditions aux limites, c'est-à-dire, la teneur en eau initiale du profil et la teneur en eau imposée en surface.

### **Coefficient d'emmagasinement**

C'est le rapport du volume d'eau libéré ou emmagasiné, par unité de surface de l'aquifère, à la variation de charge hydraulique correspondante. Le coefficient d'emmagasinement est utilisé pour caractériser plus précisément le volume d'eau exploitable, il conditionne l'emmagasinement de l'eau souterraine mobile dans les vides du réservoir. Pour une nappe captive ce coefficient est extrêmement faible ; il représente en fait le degré de compression de l'eau.

### **Coefficient d'imperméabilisation**

Le coefficient d'imperméabilisation, appelé aussi coefficient de ruissellement, est défini dans les Instructions Techniques de 1977 comme le rapport entre la superficie revêtue et la superficie totale.

### **Conductivité hydraulique**

La conductivité hydraulique à saturation figurant dans la loi de Darcy caractérise l'effet de résistance à l'écoulement dû aux forces de frottement. Ces dernières sont fonction des caractéristiques de la matrice solide et de la viscosité du fluide. Elle est déterminée par expérimentation soit au laboratoire, soit directement sur le terrain par essai de pompage. Il représente la valeur limite du taux d'infiltration si le sol est saturé et homogène.

### **Couches de couverture**

Zone non saturée du sous-sol, située au-dessus du niveau d'une nappe d'eaux souterraines, à l'exclusion du sol. La protection des eaux souterraines dépend en particulier de l'épaisseur et de la perméabilité des couches de couverture.

### **DBO - DCO**

DBO : Demande biochimique en oxygène.

DCO : Demande chimique en oxygène.

Les micro-organismes qui se trouvent dans l'eau en consommant de l'oxygène y est dissous. Pour une eau de qualité donnée, on peut mesurer cette consommation naturelle telle qu'elle aurait lieu in situ : c'est la Demande Biochimique en Oxygène Total (DBOT). La durée de la mesure peut être très longue. Aussi, elle est généralement limitée à 5 jours (DBO5). On peut aussi minéraliser cette matière organique par voie purement chimique, en lui fournissant artificiellement de l'oxygène. Le procédé est certes plus rapide, mais il ne mesure pas le même phénomène. On utilise pour cela un oxydant puissant (bichromate de potassium) et on mesure l'oxygène qui lui est «emprunté» : c'est la DCO.

### **Déversoir d'orage**

Ouvrage d'assainissement permettant, sur les réseaux unitaires, d'évacuer les pointes de débit d'origine pluviale vers un ouvrage de stockage ou vers le milieu naturel, pour protéger la partie aval d'un réseau ou d'un ouvrage d'épuration.

### **Diffusivité**

La diffusivité caractérise la vitesse de réaction d'un aquifère lors d'une perturbation (variation de niveau de la rivière, de la nappe, pompage). Elle s'exprime par le rapport entre la transmissivité et le coefficient d'emmagasinement.

### **Drainage rapide**

Le drainage rapide s'applique à des apports par infiltrations réagissant rapidement à la pluviométrie. Son échelle de temps caractéristique est de l'ordre de 1h à 48h. Source : BREIL P. (1990) - "Drainage des eaux claires par les réseaux sanitaires : Mécanismes et approche quantitative." Thèse USTL.

### **Eaux d'infiltration**

Eaux en mouvement en milieu non saturé, sous l'effet de la gravité.

### **Eaux parasites**

Eaux dont la qualité ne correspond pas à la vocation des ouvrages qu'elles traversent. Il s'agit le plus souvent d'eaux claires de drainage de la nappe

souterraine, surchargeant un réseau d'assainissement et son ouvrage d'épuration.

### **Eaux Parasites d'Infiltration (EPI)**

Terme correspondant à des entrées d'eaux souterraines (intersticielles) par le biais de défauts structurels (béton poreux, joints fuyards, intrusion de racines, cassure...). Ces infiltrations peuvent être permanentes (collecteur sous le niveau de la nappe) ou temporaires et liées à la pluviométrie (drainage rapide des terrains = restitution en moins de 48h ; ressuyage des terrains = restitution de l'ordre de plusieurs jours).

### **Eaux Parasites Permanentes (EPP)**

Terme correspondant à des eaux de surface indûment captées par le réseau : fontaines, sources captées, communication avec les eaux superficielles, lavoirs, WC publics ainsi que les vidanges, fuites ou trop-pleins des réseaux d'eau potable trouvant dans le réseau d'assainissement un exutoire "facile".

### **Eaux météoriques**

Précipitations (pluie, neige).

### **Eaux souterraines**

Eaux qui remplissent de manière continue les vides du sous-sol (pores, fissures, cavités). Les eaux souterraines sont alimentées par l'infiltration des précipitations et des eaux superficielles ; elles s'écoulent en suivant les lois de la gravité.

### **Eaux superficielles**

Eaux dont la surface est directement au contact de l'atmosphère (lacs, cours d'eau).

### **Écoulement**

Déplacement par gravité des eaux d'origine météorique, en surface ou en sous-sol.

### **Essai de traçage**

Marquage d'une eau au moyen de traceurs artificiels, pour apprécier son cheminement. Les essais de traçage permettent par exemple de mettre des liaisons hydrauliques en évidence, de déterminer la vitesse de déplacement ou le temps de séjour des eaux dans le sous-sol.

### **Essai Matsuo**

Essai de surface pour définir la perméabilité en surface à un horizon de 1 m au dessous de la surface. Mise en œuvre d'un volume d'eau (type seau sans fond) pour constater de sa diminution de volume en 4 heures pour définir le potentiel d'infiltration de la zone. Réalisation d'une cavité dans le sol par pelle mécanique, détermination du volume et suivi du niveau d'eau sans saturation.

*Nota* : Les tests de perméabilité définitifs seront positionnés en fonction de l'esquisse.

### **Etude géophysique**

Etude effectuée à l'aide de méthodes indirectes (par exemple, méthode sismique ou géoélectricité), pour déterminer les caractéristiques physiques et structurales du sous-sol.

### **Fissure**

Surface de discontinuité (joint), correspondant à une fracture sans rejet, dans une roche consolidée.

### **Flux géothermique**

Quantité de chaleur provenant de l'intérieur de la Terre par unité de temps. En moyenne, le gradient géothermique est de 3 °C par 100 m près de la surface.

### **Géomorphologie**

Analyse des conditions naturelles et anthropiques d'écoulement des eaux dans un bassin versant Hortonien. Le ruissellement à la surface du sol peut advenir quand la pluie (ou les apports à la surface du sol, s'il y a apport venant de l'amont) dépasse la capacité d'infiltration du sol. Dans ce cas, l'excédent ruisselle, on parle de ruissellement hortonien.

### **Hydraulique**

Théorie des écoulements de liquides dans les conduites, les canaux et les milieux poreux.

### **Hydrocarbures**

Groupe de composés organiques, dérivés du pétrole, généralement utilisés comme combustibles, carburants, lubrifiants ou détergents.

### **Hydrochimie**

Théorie des réactions chimiques en milieu aqueux.

### **Hydrodynamique**

Théorie des écoulements liquides et des forces qui en résultent.

### **Hydrogéologie**

Science des eaux souterraines, de leur formation, de leur distribution au sein de l'écorce terrestre, de leur circulation et de leurs propriétés.

### **Hydrogramme**

Courbe représentant les débits en fonction du temps en une section donnée d'un cours d'eau.

### **Hydrologie**

Science des eaux naturelles, de leurs différentes formes, de leur distribution dans le cycle de l'eau et de leurs propriétés.

### **Hystogramme**

Courbe (ou graphique) en échelon représentant l'intensité de la pluie en fonction du temps.

### **Infiltration**

Pénétration de l'eau superficielle dans le sol ou dans des roches poreuses. L'infiltration se produit quand l'eau s'introduit dans les pores de la roche ou entre les particules du sol sous l'effet de la gravité ou de l'humectation progressive de petites particules par action capillaire.

### **Karst**

Type de relief modelé par des phénomènes de dissolution actifs. Par extension, roche comportant des cavités, parfois importantes puisqu'elles peuvent atteindre la taille de cavernes. La karstification touche les roches carbonatées (calcaire, dolomie) et les évaporites (gypse, sel gemme).

### **Limnigraphe**

Appareil enregistreur permettant d'obtenir un enregistrement continu des variations de hauteurs d'eau.

### **Lysimètre**

Le lysimètre décrit en fait différents appareils, qui ont cependant en commun d'analyser les interactions Eau-Sol-Vivant, la part du vivant pouvant être limitée aux végétaux, ou incluant la microfaune et flore du sol, selon les cas. Le lysimètre permet d'étudier et comparer le comportement de l'eau et de ses solutés dans son parcours dans le sol ou lors de son rejet vers le compartiment atmosphérique via l'évaporation et la transpiration des plantes ou de la microflore et microfaune du sol (infiltration, solubilisation de minéraux, température selon la profondeur, le type de sol et le taux de végétalisation ou la nature des végétaux, tension électrique/conductivité (traduisant la teneur en sels), variation d'acidité et de dureté ou de composition de l'eau, mesure des flux).

### **Nappe captive**

Une nappe captive est une nappe d'eau souterraine emprisonnée dans une formation géologique perméable, entre deux formations imperméables. L'eau contenue dans la nappe captive est donc soumise à une pression supérieure à la pression atmosphérique. La surface fictive de cette nappe correspondant à la surface piézométrique située au-dessus de la limite supérieure de l'aquifère confiné. Lorsque la charge hydraulique est supérieure au niveau du sol, l'eau jaillit naturellement. Ce phénomène est appelé l'artésianisme et on nomme alors ce type de nappe captive, nappe artésienne. Notons qu'une nappe captive présente également une surface libre par où l'eau peut s'infiltrer. Cette zone d'alimentation s'intitule surface de captage.

### **Nappe d'eaux souterraines**

Masse d'eau contenue et s'écoulant dans un aquifère.

### **Nappe libre**

Une nappe libre est une nappe dont la limite supérieure dans la formation poreuse est à surface libre, sans contraintes physiques. On appelle nappes phréatiques, les premières nappes libres rencontrées. La pression exercée sur le toit de cette nappe est égale à la pression atmosphérique.

### **Nappe perchée**

Une nappe perchée est une nappe libre, permanente ou temporaire, formée dans une zone non saturée, et qui surmonte une nappe libre de plus grande extension.

### **Nappe semi-captive**

Une nappe semi-captive appartient à un aquifère dont le toit ou/et le substratum est constitué par une formation semi-perméable. Les échanges d'eau avec cette formation semi-perméable superposée ou sous-jacente, réalisés dans certaines conditions hydrodynamiques favorables (différences de charge), sont appelés drainance.

### **Nitrates**

Composé azoté soluble dans l'eau, formé par exemple par l'oxydation d'engrais renfermant de l'ammonium ou par des apports atmosphériques.

### **Niveau piézométrique**

Niveau d'une nappe d'eaux souterraines mesuré en un point déterminé et à un moment donné.

### **Pédologie**

Etude du sol (physique, chimique et biologique).

### **Percolation**

La percolation désigne l'écoulement plutôt vertical de l'eau dans le sol (milieu poreux non saturé) en direction de la nappe phréatique, sous la seule influence de la gravité. Ce processus suit l'infiltration et conditionne directement l'alimentation en eau des nappes souterraines.

### **Période de retour**

Moyenne à long terme du temps ou du nombre d'années séparant un événement d'une grandeur donnée d'un second événement d'une grandeur égale ou supérieure. Le temps de retour n'est qu'une autre façon d'exprimer, sous une forme qui se veut plus imagée, la probabilité d'un événement à un moment donné. Malgré son nom sans doute bien mal choisi, il ne fait référence à aucune notion de régularité ou de périodicité et peut même s'appliquer à des événements qui ne se sont pas produits et qui ne se produiront peut-être jamais à l'avenir.

### **Période de végétation**

Principale phase de croissance des plantes au cours de l'année.

### **Perméabilité**

Propriété d'une roche de laisser passer un fluide et, en particulier, l'eau, sous l'effet d'un gradient de potentiel ; synonyme de conductivité hydraulique.

### **Pesticides**

Terme général désignant les produits antiparasitaires utilisés surtout en agriculture. Suivant leur spectre d'action, ils sont subdivisés en acaricides, insecticides, fongicides, herbicides, etc.

### **Pluie nette**

La pluie nette représente la quantité de pluie qui ruisselle strictement sur la surface du terrain lors d'une averse. La pluie nette est déduite de la pluie totale, diminuée des fractions interceptées par la végétation et stockée dans les dépressions du terrain. La séparation entre la pluie infiltrée et la pluie écoulee en surface s'appelle *fonction de production*.

### **Pluviographie**

Instrument enregistreur destiné à mesurer la quantité de pluie tombée en un lieu donné pendant un laps de temps précis.

### **Pluviométrie**

Appareil destiné à mesurer la quantité de précipitations globales en un lieu pendant un temps plus ou moins long – (en général au moins 12 h).

### **Pollutogramme**

Courbe définissant, en fonction du temps, la variation d'un paramètre de pollution pour une localisation précisée.

### **Porosité efficace**

La porosité efficace qui correspond au rapport du volume d'eau "mobile" à saturation, libérée sous l'effet de la gravité, au volume total du milieu qui la contient. Elle varie généralement entre 0,1 et 30 %. La porosité efficace est un paramètre déterminé en laboratoire ou sur le terrain.

### **Puits filtrants**

Ouvrage équipé d'un filtre pour l'exploitation des eaux souterraines. Il y a des puits filtrants verticaux et des puits filtrants à drains horizontaux.

### **Réseau de fissures**

Système de fissures interconnectées.

### **Réseau séparatif**

Réseau d'assainissement où les eaux de pluie et les eaux usées circulent dans des collecteurs distincts.

### **Réseau unitaire**

Réseau d'assainissement collectant à la fois des eaux usées et des eaux de pluie.

### **Ressuyage**

Le ressuyage s'applique à des apports par infiltrations réagissant rapidement à la pluviométrie. Son échelle de temps est de l'ordre d'un jour à une semaine. Il peut représenter des débits non négligeables et des volumes considérables. Ses mécanismes s'apparentent davantage à ceux qui gouvernent le fonctionnement des nappes souterraines classiques à ceci près, que les nappes considérées sont très superficielles (nappes perchées).

### **Revitalisation**

Ensemble des mesures prises pour qu'un paysage ou élément de paysage (par exemple cours d'eau) transformé par les interventions humaines retrouve un état proche de l'état naturel.

**Roche consolidée**

Roche dure et cohérente (par opposition à roche meuble, voir infra).

**Roche meuble**

Roche formée de fragments non cimentés (par ex. sable, gravier).

**Roche sédimentaire**

Roche consolidée formée par la transformation de sédiments (diagenèse).

**Ruissellement**

Circulation d'eau à la surface du sol, qui prend un aspect diffus sur des terrains ayant une topographie homogène et qui se concentre lorsqu'elle rencontre des dépressions topographiques

**Sédiment**

Ensemble constitué par la réunion de particules plus ou moins grosses ou de matières précipitées ayant, séparément, subi un certain transport.

**Sol**

Partie la plus superficielle, non revêtue, de l'écorce terrestre, dans laquelle les plantes peuvent se développer. Le sol est formé par les produits de l'altération des roches sous-jacentes et par de la matière organique (humus).

**Surface active**

Le volume ruisselé, capté par le réseau = volume de temps de pluie - volume de temps sec. L'estimation des surfaces actives (volume ruisselé capté / hauteur de précipitations) permettra par la définition de ratio, de réaliser une hiérarchisation de la séparativité par sous-bassin.

**Source**

Point d'émergence d'eaux souterraines à la surface du sol ; les eaux s'y écoulent librement.

**Temps de concentration**

Temps maximum nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le trajet d'un point du réseau hydrographique jusqu'à l'exutoire. Ce temps, dépendant des temps d'humectation, de ruissellement et d'acheminement, caractérise en partie la vitesse et l'intensité de réaction du bassin versant à des précipitations.

**Temps de réponse**

Intervalle de temps qui sépare l'instant où la crue est la plus intense (débit le plus élevé autrement appelé débit de pointe) et le moment où la pluie est la plus importante (maximum de précipitations). Il varie en fonction de la nature des terrains traversés par l'eau.

**Temps de séjour**

Durée de séjour d'une particule d'eau dans une partie déterminée d'un aquifère (voir aussi temps de parcours).

### **Traceur**

Substance injectée dans les eaux ou présente naturellement dans les eaux, permettant d'observer leur cheminement et les phénomènes d'échange qui s'y déroulent.

### **Transmissivité**

La transmissivité est le débit d'eau qui s'écoule d'un aquifère, par unité de largeur, sous l'effet d'une unité de gradient hydraulique. Elle est égale au produit de la conductivité hydraulique à saturation et de la **puissance** (hauteur) de la nappe.

### **Vulnérabilité**

Sensibilité d'une nappe d'eaux souterraines à la pollution naturelle ou anthropique. Propension d'une personne, d'un bien, d'une activité, d'un territoire à subir des dommages suite à une catastrophe naturelle d'intensité donnée. Ainsi, par exemple la vulnérabilité d'un territoire peut être regardée comme la somme des vulnérabilités individuelles de ces composants (population, habitat, activités, infrastructures, etc.) à laquelle on ajoute certaines appréciations propres à ce territoire (essentiellement la morphologie urbaine : un quartier composé de petites ruelles étroites est plus « vulnérable » qu'un autre où les accès sont facilités par des voies larges). Mais elle n'est jamais une quantification mathématique, plutôt une appréciation d'expert.

### **Zone d'étalement**

Surface en forme de parabole ouverte du côté aval («panache») que couvrent les particules d'eau dans l'aquifère à partir d'un point. L'écoulement des eaux souterraines fait en effet appel, en première approximation, à deux phénomènes le déplacement par convection dans le sens du gradient hydraulique (mouvement régi par la loi de Darcy) et la dispersion, provoquée par le déplacement des particules d'eau suivant des trajectoires tortueuses (variations de vitesse et de direction liées à l'hétérogénéité du milieu). En présence de substances dissoutes, des phénomènes de diffusion moléculaire augmentent la tendance à la dispersion et contribuent ainsi à déformer encore plus la zone d'étalement.

### **Zone non saturée**

Couches de couverture, à l'exclusion du sol.

### **Zone saturée**

Partie du sous-sol dont les vides sont entièrement remplis d'eau.

## Table des illustrations

Figure 1 : affaissement (a) et effondrement (b) dus à une cavité souterraine.....	19
Figure 2 : Carte Multicritères synthétique de l'infiltrabilité des sols dans le département des Hauts de Seine .....	22
Figure 3 : Illustrations du matériel utilisé pour la réalisation des essais Porchet.....	24
Figure 4 : Schéma de principe de l'essai Porchet .....	24
Figure 5 : Foreuse utilisée pour les essais Lefranc.....	25
Figure 6 : Représentation de l'abattement à la parcelle et son impact sur l'hydrogramme .....	27
Figure 7 : Représentation de la limitation des débit de rejets et de son impact sur l'hydrogramme (technique de stockage - restitution) .....	28
Figure 8 : Exemple de coupe de sol en fond du bassin d'infiltration de Django Reinhardt (Chassieu).....	33
Figure 9 : Principe du modèle du réservoir linéaire.....	37
Figure 10 : Représentation d'un débordement à l'aide d'un modèle de simulation hydraulique .....	37
Figure 11 : Méthodologie pour la réalisation du zonage pluvial de Paris .....	38
Figure 12 : Moyennes des températures et des précipitations à Roissy entre 1971 et 2000 .....	42
Figure 13 : Caractéristiques d'occupation des sols d'Argenteuil.....	43
Figure 14 : Carte qualité des eaux de Seine à Argenteuil .....	45
Figure 15 : Carte crue de la Seine à Argenteuil.....	45
Figure 16 : Le ruissellement pluvial dans le Val d'Oise.....	46
Figure 17 : Axes du ruissellement pluvial à Argenteuil.....	47
Figure 18 : Zones d'influence des nappes – Commune d'Argenteuil.....	49
Figure 19 : Risque de mouvements de terrain – Commune d'Argenteuil .....	49
Figure 20 : Zones à risque de dissolution de gypse de la commune d'Argenteuil .....	50
Figure 21 : Zones à risque de glissement de terrain de la commune d'Argenteuil.....	50
Figure 22 : Zones à risque de Carrières de la commune d'Argenteuil.....	51
Figure 23 : Zones à risque de Remblais de la commune d'Argenteuil.....	51
Figure 24 : Zonage du plan de prévention des mouvements de terrain .....	52
Figure 25 : Carte des bassins versant d'Argenteuil.....	53
Figure 26 : Schéma de fonctionnement des bassins versants .....	54
Figure 27 : Carte géologique d'Argenteuil .....	55
Figure 28 : Coupe hydrogéologique schématique de la ville d'Argenteuil.....	57
Figure 29 : Buttes témoins oligocènes et grands axes structuraux au Nord de Paris .....	58
Figure 30 : Localisation des coupes géologiques (la légende est consultable en annexe 4) .....	58
Figure 31 : Coupe1 (à gauche), coupe 2 (au centre) et légende (à droite) .....	59
Figure 32 : Carte de localisation des zones d'investigation .....	62
Figure 33 : Extrait de la Carte géologique de Paris – Secteur d'Argenteuil sud.....	63
Figure 34 : Extrait de la Carte géologique sur InfoTerre - Tracé de la coupe géologique .....	64
Figure 35 : Coupe géologique d'Argenteuil passant pas les piézomètres 1, 2, 6, 5 et 7 .....	64
Figure 36 : Carte des bassins versants de la communauté d'agglomération Argenteuil Bezons et implantation des PZ .....	66
Figure 37 : Localisation de la rue Laget - Axes du ruissellement pluvial à Argenteuil .....	66
Figure 38 : Exemple de traitement des poteaux électriques pour éviter leur dégradation .....	67
Figure 39 : Phénomène de déformation de la chaussée en fonction de l'influence de la nappe .....	67
Figure 40 : Photo de relevé des mesures piézométriques.....	68
Figure 41 : Environnement du piézomètre 5.....	69
Figures 42 : Zone d'infiltration rue des Provençaux.....	69
Figures 43 : Zone d'infiltration parc du cerisier (proche terrain de rugby) .....	70

Figure 44 : Schéma de principe de la mise en œuvre d'un piézomètre .....	71
Figure 45 : Infiltration du colorant sur le site des Provençaux (PZ3).....	72
Figure 46 : Mise en œuvre du mélange eau + colorant.....	73
Figure 47 : Utilisation d'eau pour révéler le colorant dans le sol .....	73
Figure 48 : reconstitution d'une pluie artificielle.....	74
Figure 49 : Niveau de la Seine pendant la période de mesure.....	76
Figure 50 : Evolution du PZ1 en fonction du temps et de la pluie .....	77
Figure 51 : Evolution du PZ1 en fonction du temps et du niveau de la Seine .....	77
Figure 52 : Evolution du PZ2 en fonction du temps et de la pluie .....	78
Figure 53 : Evolution du PZ2 en fonction du temps et du niveau de la Seine .....	79
Figure 54 : Evolution du PZ3 en fonction du temps et de la pluie .....	79
Figure 55 : Evolution du PZ3 en fonction du temps et du niveau de la Seine .....	80
Figure 56 : Evolution du PZ4 en fonction du temps et de la pluie .....	80
Figure 57 : Evolution du PZ5 en fonction du temps et de la pluie .....	81
Figure 58 : Evolution du PZ6 en fonction du temps et de la pluie .....	82
Figure 59 : Evolution du PZ7 en fonction du temps et de la pluie .....	82
Figure 60 : Evolution des 7 PZ et du niveau de la Seine en fonction du temps .....	84
Figure 61 : Evolution relative des 7 PZ et du niveau de la Seine en fonction du temps...84	84
Figure 62 : Mise en œuvre du colorant avec les contraintes topographiques du site .....	85
Figure 63 : Ecoulement d'une poche d'eau .....	86
Figure 64 : Terrassement à la pelle mécanique pour identifier la pénétration du colorant .....	86
Figure 65 : Terrassement pour identifier la présence de colorant .....	87
Figure 66 : Niveau piézométrique de la nappe de l'Eocène.....	89
Figure 67 : bassin versant des nappes de sub-surface.....	90
Figure 68 : Répartition du bilan hydrique en fonction des milieux .....	91
Figure 69 : Estimation des aires d'alimentation des nappes de sub-surface.....	93
Figure 70 : Coupe géologique de l'alimentation des nappes profondes.....	94
Figure 71 : bassin versant des nappes profondes (exemple de la nappe de Beauchamp) .....	95
Figure 72 : Report du niveau de la nappe la plus affleurante pour les piézomètres 1, 2, 6, 5 et 7.....	95
Figure 73 : Reconstitution d'une coupe de sol (terre végétale, colluvion et argiles) .....	99
Figure 74 : Bilan hydrique simplifié.....	101
Figure 75 : Bilan des contraintes de sol observées sur Argenteuil pouvant limiter l'infiltration .....	105
Figure 76 : Bilan des contraintes d'habitat observées sur Argenteuil .....	106
Figure 77 : Carte schématique des zones favorables à l'infiltration.....	106
Figure 78 : Evolution du PZ1 en fonction du temps et de la pluie .....	193
Figure 79 : Evolution du PZ1 en fonction du temps et du niveau de la Seine .....	194
Figure 80 : Evolution relative du PZ1 en fonction du temps et de la pluie.....	194
Figure 81 : Evolution du PZ2 en fonction du temps et de la pluie.....	195
Figure 82 : Evolution du PZ2 en fonction du temps et du niveau de la Seine .....	195
Figure 83 : Evolution relative du PZ2 en fonction du temps et de la pluie.....	196
Figure 84 : Evolution du PZ3 en fonction du temps et de la pluie.....	196
Figure 85 : Evolution du PZ3 en fonction du temps et du niveau de la Seine .....	197
Figure 86 : Evolution relative du PZ3 en fonction du temps et de la pluie.....	198
Figure 87 : Evolution du PZ5 en fonction du temps et de la pluie.....	199
Figure 88 : Evolution relative du PZ5 en fonction du temps et de la pluie.....	200
Figure 89 : Evolution du PZ7 en fonction du temps et de la pluie.....	200
Figure 90 : Evolution relative du PZ7 en fonction du temps et de la pluie.....	201
Figure 91 : Evolution du PZ1 en fonction du temps et de la pluie .....	203
Figure 92 : Evolution du PZ2 en fonction du temps et de la pluie .....	203
Figure 93 : Evolution du PZ3 en fonction du temps et de la pluie .....	204
Figure 94 : Evolution du PZ5 en fonction du temps et de la pluie .....	204
Figure 95 : Evolution du PZ7 en fonction du temps et de la pluie .....	205

Figure 96 : Exemple de rétention d'eau sur la voirie en fonction des aspérités / irrégularités .....	216
Figure 97 : Terrain de jeux à Fontenay-sous-Bois .....	216
Figure 98 : aménagement de terrasses à Fontenay-sous-Bois .....	217
Figure 99 : Collecte des eaux pluviales en fonction de la topographie marquée du bassin versant .....	217
Figure 100 : Déversoir triangle.....	224
Figure 101 : exemple de disposition des 4 zones de lysimètres .....	226
Figure 102 : schéma de principe de mise en œuvre du lysimètre .....	226
Figure 103 : Mise en œuvre de géomembrane et de procédés de collecte des eaux.....	227
Figure 104 : Visualisation par Google Earth du site envisagé.....	228
Figure 105 : Coupe géologique du site envisagée .....	228
Figure 106 : Diagramme de perméabilité et la transmissivité du milieu saturé en fonction de leur granulométrie.....	232

# TABLEAUX

Tableau 1 : Eléments à prendre en compte dans un projet d'assainissement pluvial.....	17
Tableau 2 : Classes de perméabilité et aptitude de sols à l'infiltration.....	18
Tableau 3 : Exemples de perméabilité pour différents types de sol.....	18
Tableau 4 : Comparaison des techniques d'infiltration des eaux pluviales .....	30
Tableau 5 : Niveaux des crues historiques .....	44
Tableau 6 : Crues historiques au Pont de Colombes .....	44
Tableau 7 : Références de catastrophe naturelles sur Argenteuil .....	48
Tableau 8 : Références des Plans de Prévention sur Argenteuil.....	48
Tableau 9 : Coefficient d'imperméabilisation utilisé .....	54
Tableau 10 : pluviométrie d'Argenteuil du 10-05 au 15-06 2009.....	75
Tableau 11 : Bilan de la réactivité des nappes par rapport aux pluies.....	85
Tableau 12 : Exploitation des essais Lefranc pour les 7 PZ .....	90
Tableau 13 : Caractéristiques des 7 nappes rencontrées.....	93
Tableau 14 : Ordres de grandeur de la conductivité hydraulique dans différents sols...	232

# ANNEXES

- - **Annexe 1** - -  
**Techniques alternatives**

Cette annexe contient 18 pages

## Annexe 1 : Techniques alternatives

(cf. fiches techniques d'ADOPTA)

La limitation de l'imperméabilisation du sol afin de favoriser l'infiltration naturelle concerne :

- parking engazonné,
- allée en graviers plutôt qu'en asphalte,
- tranchée drainante,
- noue (fossé peu profond et évasé permettant l'infiltration et le stockage),
- chaussée à structure réservoir,
- toiture réservoir,
- toiture végétalisée.

Les techniques alternatives ont permis des aménagements dans lesquels l'eau n'est plus une contrainte, mais permettent de créer des trames vertes et peuvent même devenir un outil pédagogique avec des mares.

La bonne mise en œuvre de techniques alternatives lors de la réalisation d'un projet nécessite l'implication de chaque partenaire et chaque service concerné. Une collaboration efficace, un décloisonnement des différents services (voirie, assainissement, espaces verts, ...) s'imposent.

Intégrées dès le départ des projets, les techniques alternatives évitent les surcoûts.

Enfin, avant d'établir un choix de technique alternative à utiliser, il faut effectuer un diagnostic approfondi du site, prendre connaissance des contraintes du site mais aussi de ses opportunités. Cela permet d'élaborer la solution la plus adaptée. En effet, l'ensemble des techniques alternatives constitue une véritable "boîte à outils" offrant de multiples possibilités et permettant de créer des aménagements uniques.

### ↳ Limites de validité :

- Sur A Validité absolue pour  $5 \text{ ha} < A < 20 \text{ ha}$   
Validité affirmée pour  $1 \text{ ha} < A < 5 \text{ ha}$  et  $20 \text{ ha} < A < 200 \text{ ha}$
- Sur I Valable pour  $0,2 \% < I < 5 \%$
- Sur C  $C \geq 0,2$
- Sur T Périodes de retour limitées à 10 ans.

Pour des calculs plus précis, on utilisera les valeurs des coefficients  $a(F)$  et  $b(F)$  des stations météorologiques les plus proches des projets avec la formule de Montana :

$$i(t,F) = a(F) t^{b(F)}$$

où  $i(t,F)$  est l'intensité maximale de la pluie de durée  $t$ , de fréquence de dépassement  $F$ .

$i$  est exprimé en millimètres par minute.

$t$  est exprimé en minutes ; il est compris entre 5 minutes et 120 minutes.

Il faut alors se référer au chapitre II de l'Instruction Technique 77. Elle donne par ailleurs des coefficients permettant de passer du débit décennal aux débits de périodes de retour supérieures :

$$Q_2 = 0,6 Q_{10}$$

$$Q_5 = 0,8 Q_{10}$$

$$Q_{20} = 1,25 Q_{10}$$

$$Q_{30} = 1,40 Q_{10}$$

$$Q_{50} = 1,60 Q_{10}$$

$$Q_{100} = 2,0 Q_{10}$$

Ces approches simplifiées prennent en compte les variations des coefficients d'apport pour les événements extrêmes.

Afin d'obtenir les débits centennaux, il est également possible de caler les coefficients  $a(F)$  et  $b(F)$  de Montana pour la période de retour centennale.

Le dispositif de collecte sera dimensionné pour empêcher tout débordement et inondation pour les événements pluvieux :

- de période de retour répondant à ceux de la norme NF EN 752
- dans des cas spécifiques identifiés dans le PLU ou le PPR, pour la période de retour préconisée dans ces documents.

Dans tous les cas, on devra comparer le débit calculé par la méthode de CAQUOT à d'autres méthodes mieux adaptées localement, telle que la méthode rationnelle utilisant les courbes intensité, durée, fréquence (à titre d'exemple, dans les Pyrénées Orientales, la formule T.G.V., ou formule de BENECH, est utilisée).

Elle donne le débit de pointe décennal ( $Q_{10}$ ) :

$$Q_{10}(m^3/s) = 0,167.C_a.I.A$$

avec  $Q_{10}$  = débit décennal ( $m^3/s$ )

$C_a$  = coefficient d'apport

$I$  = intensité de la pluie sur le temps de concentration  $t_c$  (mm/mn)

$A$  = surface totale du BV (ha)

$t_c$  (mn) = temps de parcours de l'eau du point amont du BV au point de calcul.

On pourra utiliser la formule de Ventura suivante pour estimer ce temps :

$$t_c = 0,763 \sqrt{\frac{A}{p}}$$

avec A = surface totale du BV (ha)  
p = pente du cheminement le plus long (m/m).

Cette formule est plutôt adaptée à des bassins naturels.

Il est également possible d'estimer  $t_c$  en calculant le temps de parcours sur la base d'hypothèses de vitesse d'écoulement, compte-tenu des ouvrages de transit, et d'appliquer la formule de Terstriep suivante, plus adaptée aux bassins urbains :

$$t_c = 1/60 \sum(L_i/V_i)$$

avec  $L_i$  = longueur du tronçon du cheminement (m)  
 $V_i$  = vitesse d'écoulement (m/s)  
 $t_c$  (mn)

L'intensité de la pluie sera obtenue à partir de l'équation de Montana précédente ( $i = a \times t_c^{-b}$ ) les coefficients a et b (dits de Montana) étant issus d'une des zones de l'Instruction Technique, d'une station spécifique de la météorologie nationale ou bien d'études antérieures. Le débit centennal pourra être obtenu par la même formule en utilisant les valeurs de a et b pour T = 100 ans ou par extrapolation avec les formules précédentes.

#### ↳ Limites de validité :

- En toute rigueur, elle ne devrait s'appliquer qu'aux bassins versants urbanisés, où le rôle des surfaces imperméabilisées sur les ruissellements est prépondérant ( $C > 0,2$ ).
- Surface de bassin versant (A) limité à quelques dizaines voire centaines d'hectares.

*Remarque* : le dispositif de collecte des EP de l'aménagement sera dimensionné pour empêcher tout débordement et inondation pour les événements pluvieux :

- de période de retour 10 ans dans le cas général
- dans des cas spécifiques identifiés (PLU, PPR,...) pour la période de retour préconisée dans ces documents.

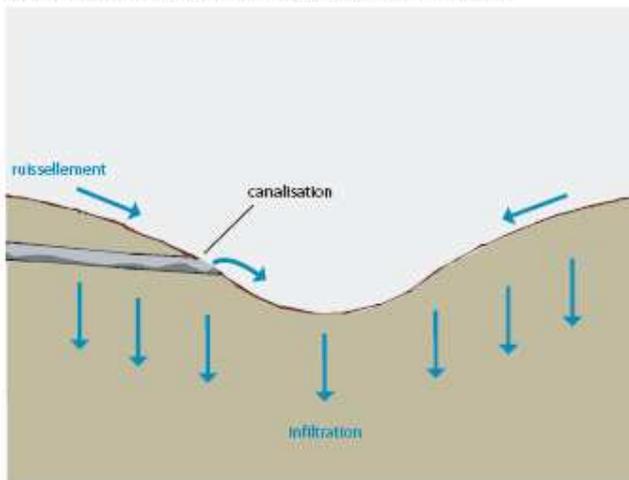
## Noue :



Une noue est un fossé large et peu profond, avec un profil présentant des rives en pente douce. Sa fonction essentielle est de stocker un épisode de pluie retenu (décennal par exemple), mais elle peut servir aussi à écouler un épisode plus rare (centennal par exemple).

Le stockage et l'écoulement de l'eau se font à l'air libre, à l'intérieur de la noue. L'eau est collectée, soit par l'intermédiaire de canalisations dans le cas, par exemple, de récupération des eaux de toiture et de chaussée, soit directement après ruissellement sur les surfaces adjacentes. L'eau est évacuée vers un exutoire - réseau, puits ou bassin de rétention - ou par infiltration dans le sol et évaporation. Ces différents modes d'évacuation se combinent selon leur propre capacité. En général, lorsque le rejet à l'exutoire est limité, l'infiltration est nécessaire, à condition qu'elle soit possible.

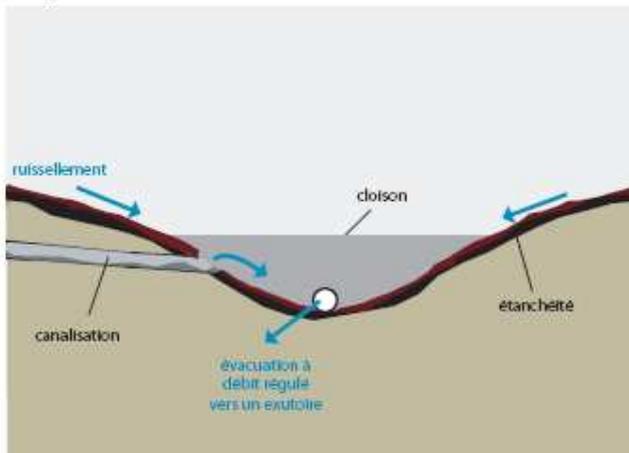
Principe de fonctionnement d'une noue ou d'un fossé d'infiltration



Parmi les principaux avantages liés à l'utilisation de cette technique, on peut citer :

- l'utilisation en un seul système des fonctions de rétention, de régulation, d'écrêtement qui limitent les débits de pointe à l'aval ainsi que le drainage des sols

Principe de fonctionnement d'une noue ou d'un fossé de rétention



- la création d'un paysage végétal et d'espaces verts pour une bonne intégration dans le site

- sa réalisation par phases, selon les besoins de stockage
- son coût peu élevé.

Cette technique comporte deux inconvénients majeurs :

- la nécessité d'entretenir régulièrement les noues

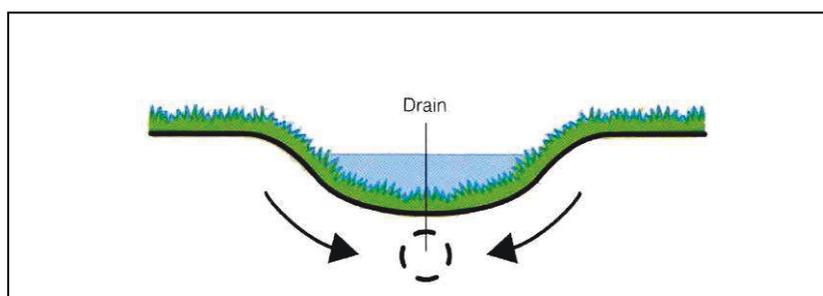
- les nuisances dues à la stagnation de l'eau.

## QUESTIONS SUR L'ENTRETIEN

- *Comment entretenir une noue ?*

Une noue a besoin d'un entretien préventif régulier pour éviter qu'elle ne se transforme en mare ou en égout à ciel ouvert ; de la fréquence de cet entretien dépend fortement l'image d'environnement de qualité que constitue la noue. Il consiste à tondre la pelouse, assez souvent en été, à arroser quand les sols sont secs pour que la végétation ne dépérisse pas, à ramasser les feuilles à l'automne et les débris d'origine humaine, et à curer les orifices.

Pour pallier le risque de bouchage des orifices, un drain peut être mis en place sous la noue ; l'eau s'infiltré dans le fond de la noue puis atteint le drain et s'écoule vers l'exutoire.



**Drain placé sous une noue**

- *Que faire en cas de pollution accidentelle ?*

En cas d'accident, on limitera la zone polluée en isolant les biefs (fermeture des orifices) et en pompant la pollution déversée.

Pour une bonne réalisation :

PARTIES ET FONCTIONS	CRITÈRES À VÉRIFIER
4.1.1.1.1.1 DE LA NOUE	
4.1.1.1.1.1.1 4.1.1.1.1.1.2 LA ZONE DE STOCKAGE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La pente du terrain naturel qui indique la variation de profondeur du fond de noue par rapport au terrain naturel et le nombre de biefs.</li> <li>A la conception, l'existence d'une pente n'est pas un facteur rédhibitoire. Dans le cas d'une pente forte, des cloisons peuvent être mises en place afin d'augmenter le volume de stockage et réduire les vitesses d'écoulement. Dans le cas d'une pente très faible, inférieure à 2 ou 3‰, une cunette en béton devra être réalisée au fond de la tranchée pour assurer un écoulement minimal.</li> <li>A la réalisation, il faut surveiller que la pente du projet soit correctement exécutée tout au long de la noue pour éviter la stagnation d'eau dans les points bas. Celle-ci, source de mauvaises odeurs et de moustiques, est mal perçue par les habitants et dévalorise ce système d'assainissement.</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• L'érosion des sols.</li> </ul> <p>Elle dépend de la nature des sols et de la pente transversale de la noue. La conception et l'entretien peuvent limiter l'érosion afin d'assurer la pérennité de la noue et l'acceptation du système par les habitants.</p>
4.1.1.1.1.1.3	LA COL LEC TE	Il n'y a pas de contrainte particulière à la mise en place d'une canalisation ou au ruissellement. Pour le ruissellement, on devra cependant vérifier que les surfaces de ruissellement sont orientées vers la noue.
4.1.1.1.1.1.4	'ÉVACUATION	Le critère déterminant pour rejeter dans un exutoire est la capacité de ce dernier.
	<b>Solution classique</b>	Les critères à vérifier pour l'infiltration sont les mêmes que pour une chaussée à structure réservoir.
	<b>Infiltration</b>	



**Noue et cunette en béton à Villaboiss Bruges (33)**  
Source CETE du Sud-Ouest

## **Bande enherbée**

### 1. **Principe de fonctionnement**

Les bandes enherbées sont généralement installées entre une zone de production de pollution, comme une route, et une rivière. Elles constituent une zone « tampon ». La végétation des bandes enherbées ralentit le flux des eaux de ruissellement pour que les particules puissent décanter avant rejet. L'abattement de pollution est obtenu par décantation puis par filtration et infiltration dans le sol sous-jacent où des phénomènes de dégradation des micro-polluants organiques, par les micro-organismes peuvent avoir lieu, sous réserve que les apports ne soient pas trop importants.

### 2. **Éléments de conception**

Éléments participant à l'efficacité de dépollution de la bande enherbée :

- une largeur minimale de 6 m
- une pente comprise entre 2 et 5 %
- les caractéristiques de la végétation (hauteur, densité)
- une vitesse d'écoulement du ruissellement maximale de 0,3 m/s. Le temps de résidence de l'écoulement le long de la bande enherbée doit être au minimum de 9 minutes
- la perméabilité du sol.

### 3. **Résultats de dépollution**

D'après les sources consultées, cet ouvrage semble conduire à :

- une réduction importante des particules solides et des métaux,
- aucune réduction significative des nutriments.

### 4. **Coût**

Le coût de mise en place d'une bande enherbée varie en fonction de l'importance des travaux à réaliser, de la végétation choisie, du choix du substrat, etc. Pour indication, une bande enherbée de 6 m de largeur coûte de 20 € / mL, au minimum, à 60 € / mL (ajout de terre végétale).

## **Noue enherbée**

### 1. **Principe de fonctionnement**

Une noue à faible pente, associée à une végétation appropriée, induit un ralentissement du flux d'eau permettant ainsi la décantation des particules, puis l'infiltration et la filtration dans le sol où des phénomènes de dégradation par les micro-organismes peuvent avoir lieu. De par sa forme incurvée, la noue permet un stockage temporaire des eaux que ne favorise pas la bande enherbée.

### 2. **Éléments de conception**

Les facteurs d'optimisation :

- une longueur minimale de 80 m linéaire pour temporiser le ruissellement
- une pente de 4 % au moins. Au-delà, il est conseillé d'installer des seuils. En dessous de 2 %, il est préconisé d'installer un système de drainage pour garantir une bonne infiltration des eaux
- le choix de la végétation
- la densité de végétation
- la hauteur de végétation

### 3. **Résultats de dépollution**

D'après les sources consultées, cet ouvrage semble conduire à :

- une réduction significative des particules solides, des métaux et des hydrocarbures
- aucune réduction significative des nutriments.

### 4. **Entretien**

Une à deux tontes annuelles suffisent à maintenir la végétation en conservant une diversité floristique

### 5. **Coût**

Le coût de mise en place d'une noue varie en fonction du foncier et de l'aménagement urbain. Le coût d'une noue végétalisée s'élève de 50 €, pour une noue de conception simple (terrassément et semis de gazon), à 200 €/mL pour une noue plus complexe (présence de biefs, etc.).



Figure 9 : Simulation d'inondation de la zone inondable du parc Jean Mermoz à Villemonble, selon l'importance de la pluie [Composante Urbaine®, 2004]

### **Puits d'absorption :**

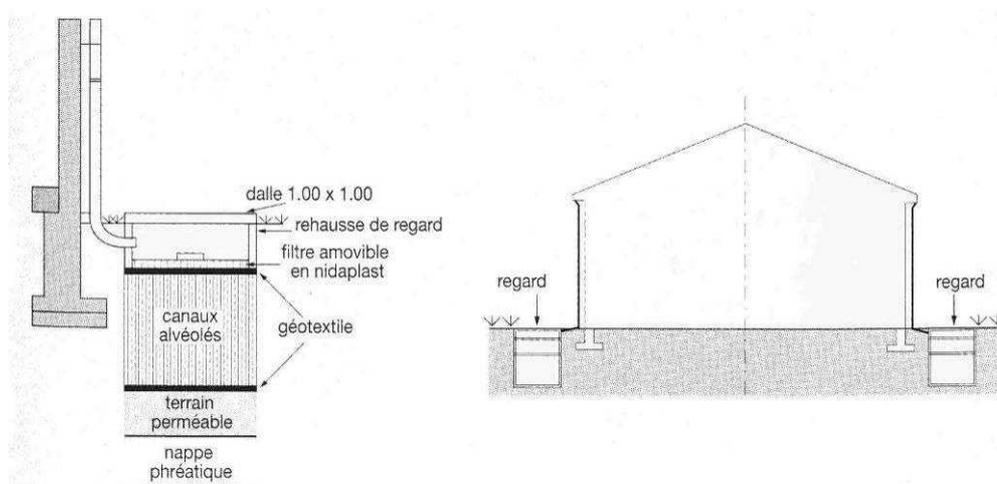
Ils peuvent être de deux types. Les puits d'injection impliquent un rejet des eaux pluviales directement dans la nappe, tandis que pour les puits d'infiltration, les eaux s'infiltrent dans le sol avant d'atteindre la nappe.

Les puits sont des dispositifs qui permettent le transit du ruissellement vers un horizon perméable du sol pour assurer un débit de rejet compatible avec les surfaces drainées, après stockage et pré-traitement éventuels. Dans la majorité des cas, les puits d'infiltration sont remplis d'un matériau très poreux qui assure la tenue des parois. Ce matériau est entouré d'un géotextile qui évite la migration des éléments les plus fins tant verticalement qu'horizontalement. Les puits sont souvent associés à des techniques de stockage de type chaussée-réservoir, tranchée drainante, fossé ou même bassin de retenue, dont ils assurent alors le débit de fuite.

Les avantages spécifiques à cette technique concernent principalement :

- sa simplicité de conception et son coût peu élevé
- sa large utilisation, de la simple parcelle aux espaces collectifs.

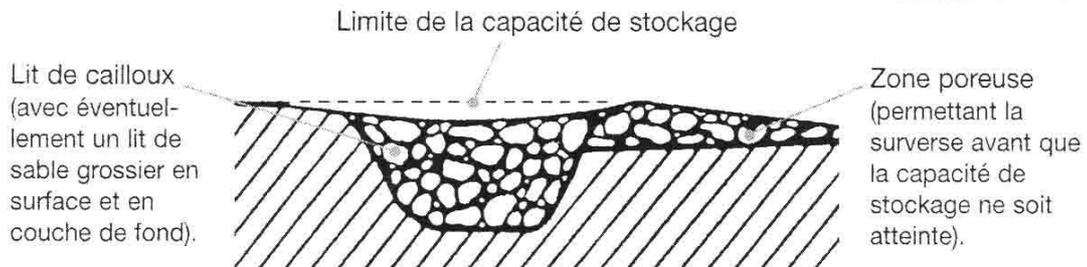
Exemple : Le stockage est adapté aux réalisations individuelles (dans ce cas, les puits sont généralement peu profonds). Ils sont souvent utilisés dans des zones pavillonnaires.



Exemple de puits d'infiltration de la Communauté Urbaine de BORDEAUX (CUB)

- son entretien relativement faible
- il convient à tous types d'usages, sauf usages industriels ou présence de fines
- elle complète les autres techniques.

Exemple : dans le cas de fossés à ciel ouvert, il est possible d'accroître l'infiltration en jalonnant le parcours du fossé de puits filtrants.



*Puits d'infiltration disposé dans le lit d'un fossé.  
Source Lyonnaise des Eaux.*

- son intégration dans le tissu urbain et la possibilité de réutiliser la surface en parking ou en aire de jeu par exemple
- elle est bien adaptée aux terrains plats où l'assainissement est difficile à mettre en œuvre.

Cette technique comporte deux inconvénients majeurs :

- le risque de pollution de la nappe
- le colmatage.

Pour une bonne réalisation :

<b>4.1.1.2 CRITÈRES À VÉRIFIER</b> ils concernent tous l'infiltration	<b>COMMENTAIRES</b>
<b>LA COMPOSITION DES EAUX À INFILTRER, LES USAGES DE SURFACES DRAINÉES, LES USAGES DE LA NAPPE.</b>	<p>Ne pas implanter de puits sur des surfaces très polluées ou pouvant l'être par des pollutions accidentelles (parking poids lourds, station d'essence, certaines zones agricoles, aire de stockage de produits chimiques).</p> <p>Il est conseillé de conserver une épaisseur de 1 m à 1,50 m de matériaux non saturés au-dessus de la nappe.</p> <p>Les matières en suspension peuvent entraîner à long terme le colmatage et imposent alors le nettoyage voire le remplacement du massif poreux de surface. L'emploi d'un géotextile à faible profondeur permet de retenir ces matières. Dans le cas d'un puits comblé, même si le colmatage est plus « réparti », le matériau de remplissage lui-même peut être chargé en fines.</p> <p>Un pré-traitement peut être mis en place ; on peut aussi profiter d'une mixité de solutions, chaussée réservoir par exemple, cette dernière jouant alors le rôle de filtre préalable.</p>
<b>LE NIVEAU DE LA NAPPE</b> peut limiter l'utilisation des puits	Plusieurs puits sur un même site peuvent augmenter localement le niveau de la nappe et les transformer en puits d'injection.
<b>LA PERMÉABILITÉ DU SOUS-SOL</b> doit être suffisante (supérieure à $10^{-6}$ m/s), ou bien celui-ci ne doit pas être imperméable sur une trop grande profondeur, ce qui obligerait à implanter des puits trop profonds. Il faut disposer d'un <b>HORIZON PERMÉABLE</b> à une profondeur accessible par les engins de chantier.	En terrain karstique, les puits sont fortement déconseillés, voire dangereux : ils peuvent provoquer des effondrements, des fuites d'eau – donc des transferts de pollution – à travers les diaclases ; un risque de dissolution existe aussi par exemple en terrain gypseux.
Le projet ne doit pas être situé à l'intérieur d'une <b>ZONE À INFILTRATION RÉGLEMENTÉE</b> (périmètre de protection des zones de captage d'eau potable) <b>OU SENSIBLE</b> sur le plan de la qualité et des usages.	L'avis préalable du conseil départemental d'hygiène ou de la police de l'eau est requis.

## QUESTIONS SUR L'ENTRETIEN

- *Quelle est la fréquence d'entretien ?*

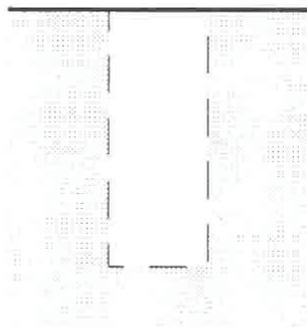
**En préventif :** environ tous les mois pour minimiser le colmatage :

- vider les chambres de décantation
- nettoyer les dispositifs filtrants
- vérifier le système de trop plein (puits creux) ou le tassement de la terre végétale (puits comblé)
- nettoyer les surfaces drainées.

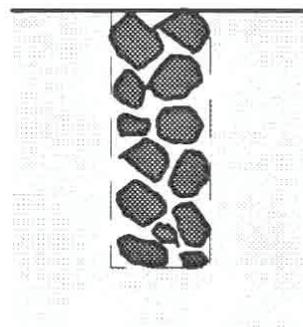
**En curatif :** de deux fois par an à une fois tous les cinq ans lorsque le puits ne fonctionne plus et déborde fréquemment. Il consiste en un curage ou un pompage.

- *Que faire en cas de pollution accidentelle ?*

Un système de pré-traitement à l'amont du puits peut limiter ce risque. Si une pollution survient, il faudra la pomper après avoir vidé le puits de ses matériaux.



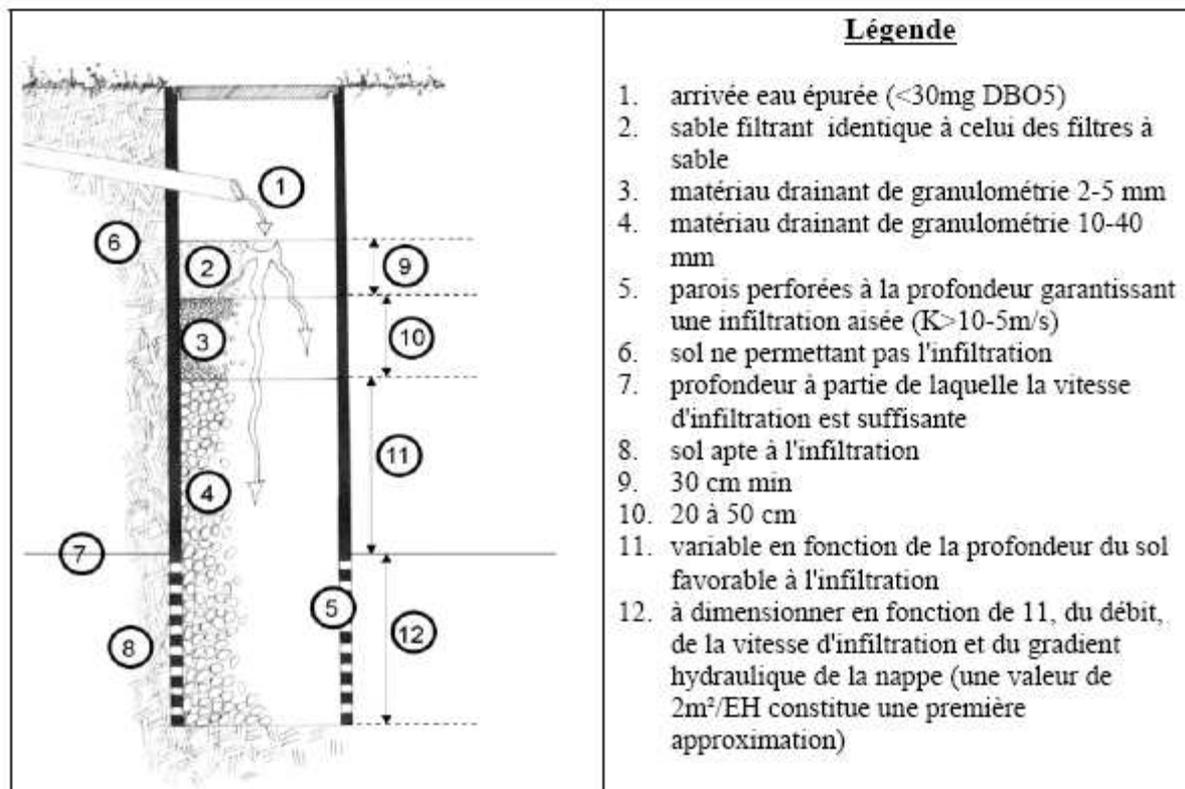
puits creux



puits comblé



Avaloir conduisant les eaux pluviales de voirie vers le puits d'infiltration – Chassieu 69



*Illustration d'un puits d'infiltration pour eaux usées épurées*

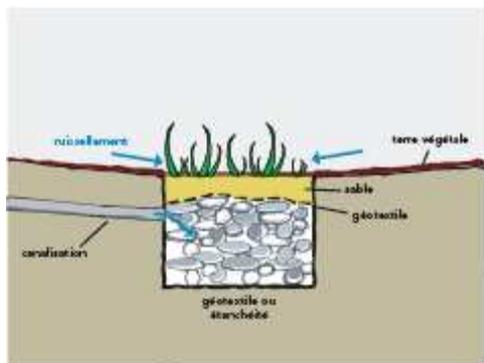
### **Tranchées d'infiltration :**

## **PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT ET AVANTAGES SPÉCIFIQUES**

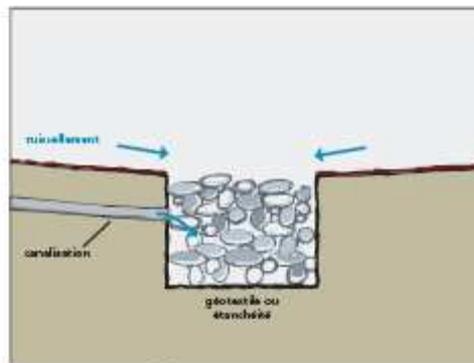
Elles ont une faible emprise sur la chaussée ou le sol et sont de faible profondeur. Il s'agit d'ouvrages linéaires, superficiels qui permettent un stockage temporaire des eaux de pluie.

Elles assurent le stockage temporaire des eaux de ruissellement. Tout comme pour les fossés, l'eau est amenée soit par des drains ou canalisations, soit par ruissellement direct. Elle est évacuée par infiltration et/ou de manière régulée vers un exutoire.

Les tranchées sont particulièrement efficaces pour le piégeage de la pollution. Elles s'intègrent parfaitement dans les aménagements, le long des bâtiments, le long des voiries (trottoirs ou pistes cyclables) ou en éléments structurants de parkings.



Tranchée végétalisée



Tranchée non couverte



La tranchée est une excavation de profondeur et de largeur faibles, servant à retenir les eaux. Elle peut revêtir en surface divers matériaux tels qu'un enrobé drainant, une dalle de béton, des galets ou de la pelouse, selon son usage superficiel : parkings de centres commerciaux, trottoirs le long de la voirie, ou jardins.

L'eau est collectée soit localement par un système classique d'avaloirs et de drains qui conduisent l'eau dans le corps de la tranchée, soit par infiltration répartie à travers un revêtement drainant en surface : enrobé drainant, pavé poreux, galets ou par des orifices entre bordures ou autres systèmes d'injection, après ruissellement sur les surfaces adjacentes.

L'évacuation se fait de façon classique vers un exutoire prédéfini : un réseau d'assainissement pluvial en général ou par infiltration dans le sol support.

### Tranchée sous terre végétale

Source CETE du Sud-Ouest

Selon leur capacité, ces deux modes d'évacuation peuvent se combiner.

Parmi les principaux avantages liés à l'utilisation de cette technique, on peut citer :

- l'insertion facile en milieu urbain avec faible consommation de l'espace
- bonne intégration au paysage, grâce aux diverses formes et revêtements de surface
- mise en œuvre facile et bien maîtrisée.



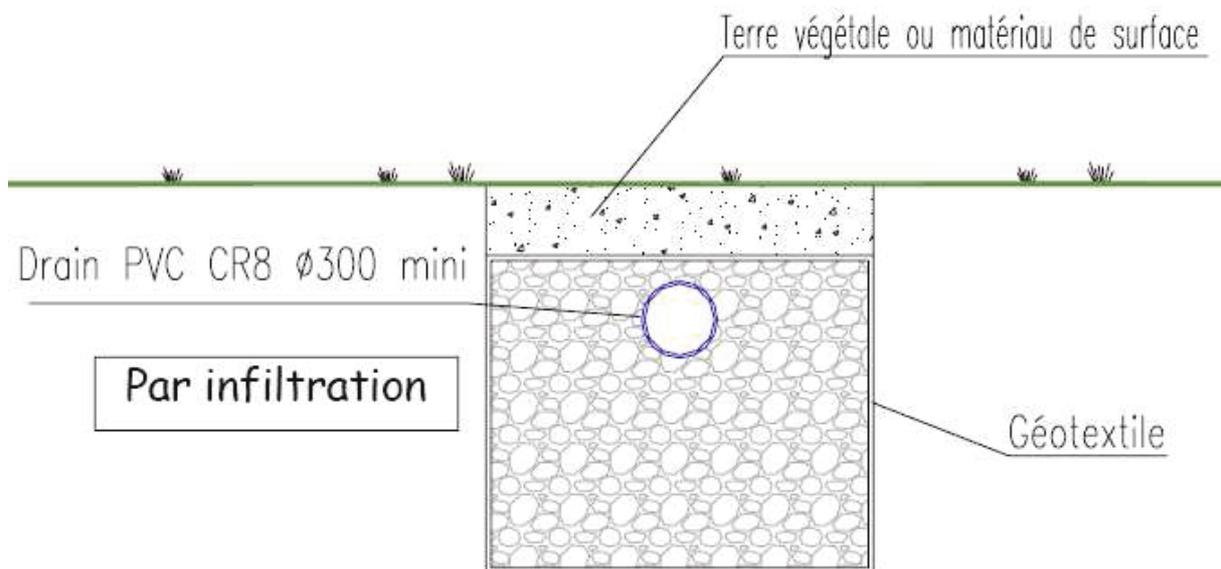
Le principal inconvénient est lié strictement, comme pour toutes les techniques d'infiltration, au risque de pollution de la nappe, suite à une pollution accidentelle.

## QUESTION SUR L'ENTRETIEN

- Une tranchée nécessite-t-elle un entretien ?

Oui, pour préserver son bon fonctionnement. Le travail d'entretien consiste à ramasser régulièrement les déchets d'origine humaine ou les végétaux qui obstruent les dispositifs d'injection locale comme les orifices entre bordure ou les avaloirs et à entretenir le revêtement drainant de surface. Le géotextile de surface doit être changé après constatation visuelle de son colmatage.

Pour les questions concernant le nettoyage des avaloirs et des drains, le nettoyage des revêtements drainants, l'action du gel sur le revêtement drainant et la zone de stockage, on se reportera au modèle de la chaussée à structure réservoir.



Cf. Grand Toulouse

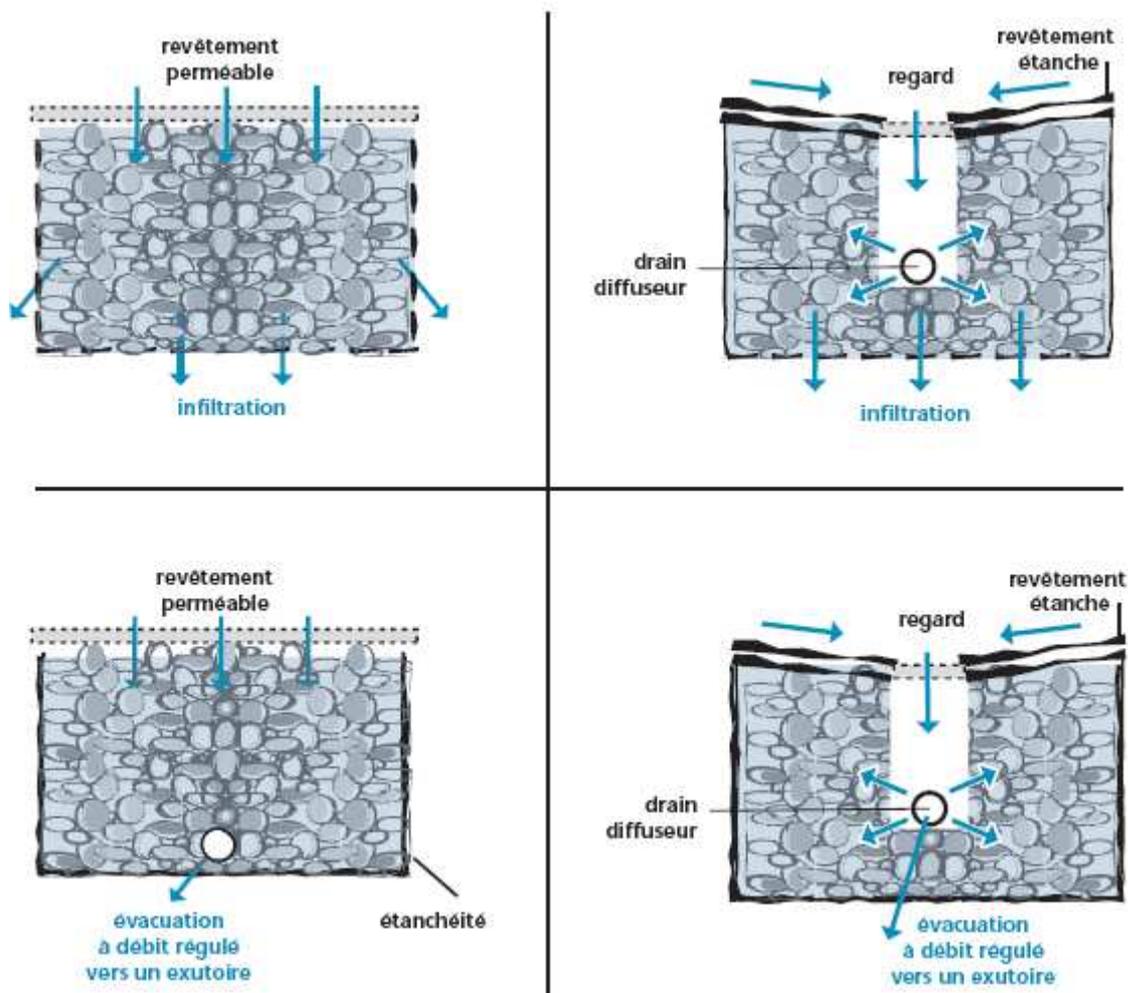
### **Chaussée à structure réservoir**

Une chaussée à structure réservoir permet le stockage provisoire de l'eau dans le corps de la chaussée. Ainsi, les débits de pointe de ruissellement sont écrêtés. L'injection de l'eau se fait soit par infiltration au travers d'un revêtement de surface drainant (enrobé drainant ou pavé poreux), soit par l'intermédiaire d'un système de drains. Les eaux s'infiltrent directement dans la chaussée dans le cas d'une structure réservoir à revêtement poreux ou sont injectées dans celle-ci par l'intermédiaire d'avaloirs par exemple, si le revêtement est étanche.

Après stockage, les eaux sont soit infiltrées dans le sol soit évacuées vers un exutoire (milieu naturel, réseau d'eaux pluviales, ...).

Le corps de chaussée est couramment composé de grave poreuse sans fine, ou bien de matériaux en plastique (nid d'abeille, casier réticulé...).

Totalement intégrée à l'aménagement, comme toute chaussée, elle supporte la circulation et le stationnement.



## ***Bassins d'infiltration***

Les bassins sont des ouvrages de stockage, de décantation et/ou d'infiltration.

On rencontre différentes configurations :

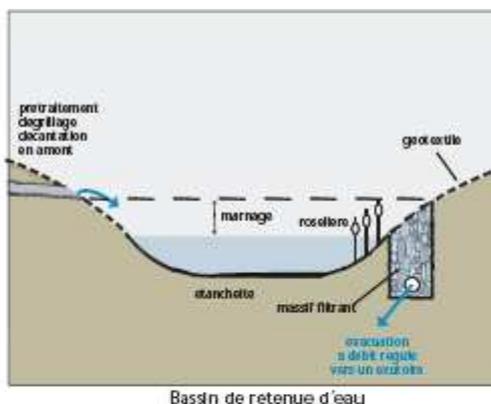
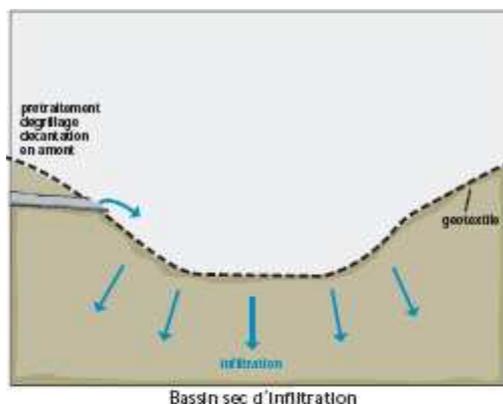
- Les bassins enterrés, réalisés en béton ou utilisant des éléments préfabriqués comme des canalisations surdimensionnées ;
- Les bassins à ciel ouvert, excavations naturelles ou artificielles, avec ou sans digues ;
- Les bassins en eau de façon permanente ou secs, inondés très ponctuellement et partiellement en fonction des pluies.

Aujourd'hui, les bassins à ciel ouvert peuvent et doivent être conçus comme des espaces multi-usages, favorisant leur intégration dans le site et leur bon fonctionnement. En général, ils participent aisément à l'amélioration du cadre de vie : bassins d'agrément, espaces verts, terrains de jeux,

Les bassins peuvent avoir différentes fonctions hydrauliques :

- Intercepter des eaux pluviales strictes ou des eaux unitaires ;
- Être alimentés systématiquement, en étant placés à l'exutoire d'un réseau ou n'être alimentés par surverses qu'en cas de saturation du réseau, en étant en dérivation ;
- Restituer les eaux (à débit contrôlé et après l'averse) vers le réseau principal, le sol – par infiltration – ou le milieu naturel.

Les bassins ont une fonction de piégeage de la pollution très importante : dégrillage grossier pour piéger les matériaux flottants (plastiques, feuilles), décantation pour la pollution particulaire. La dépollution peut être maîtrisée et optimisée selon la conception du bassin. Elle doit être réalisée en amont des ouvrages d'infiltration et des espaces multi-usages. Dans les bassins en eau ou zones humides, des phragmites ou roselières peuvent améliorer l'épuration naturelle de l'eau.



Bassin en eau, Brindas



Bassin sec aménagé en terrain de sport, Clichy-sous-Bois



Bassin sec, IUT Villierbanne

## Bassin d'infiltration

### 1. Principe de fonctionnement

Les bassins d'infiltration sont conçus pour stocker les eaux de ruissellement et leur permettre de s'infiltrer lentement à travers le sol.

Les eaux sont dépolluées par décantation puis par filtration et infiltration dans le sol.

### 2. Éléments de conception

Les facteurs d'optimisation :

- la mise en place d'un ouvrage en amont du bassin d'infiltration pour éliminer les éventuels déchets, les sédiments grossiers, afin de prévenir un colmatage précoce
- la couche d'infiltration peut être constituée du sol préexistant, en cas de perméabilité suffisante, ou d'une couche de sables ou de graviers. Les sols de perméabilités supérieures à 15 mm/h sont préférés
- les filtres étanchés par géo-membrane ou de manière naturelle par de l'argile permettent de contenir la pollution et de la concentrer dans un même lieu. Il est préconisé de contenir la pollution dans les 30 premiers centimètres et de mettre en place des sols calcaires dans ce but

### 3. Résultats de dépollution

D'après les sources consultées, cet ouvrage semble conduire à :

- une réduction des MES de manière importante
- une diminution des métaux lourds de manière significative
- un abattement moyen des hydrocarbures
- une faible réduction des nutriments.

Concernant le devenir des polluants dans les bassins d'infiltration :

- leur concentration dans le sol diminue rapidement avec la profondeur
- la pollution fixée serait contenue dans les 50 premiers centimètres (cf. étude de l'INSA de Lyon).

#### **4. Entretien**

Après plusieurs années d'utilisation, l'ouvrage se colmate. Il faut alors procéder au changement de la couche supérieure.

#### **5. Coût**

- Le coût d'un bassin d'infiltration s'élève de 50 à 100 €/m<sup>3</sup> en fonction de sa taille et des aménagements qui y seront effectués.
- Séparateurs à hydrocarbures
- Rendement faible pour les eaux de ruissellement
- Ces dispositions souffrent d'un déficit chronique d'entretien
- Encourager les dispositifs de rétention à ciel ouvert, intégré au tissu urbain, permettant d'accueillir des fonctions autres qu'hydrologiques (parcs, parkings, cour inondables). Visibles, simples de fonctionnement, ils s'avèrent durables car entretenus et utilisés au même titre que les autres espaces urbains.

La **citerne à eau de pluie** peut également jouer un rôle de rétention en cas de forte pluie. Dans un premier temps, la citerne se remplit, et c'est seulement avec un certain déphasage (fonction de la capacité de la citerne et de son niveau de remplissage avant le début de la pluie) que l'eau s'écoule vers l'égout via le trop-plein, une fois la citerne remplie.

#### **Toiture terrasse**

La toiture terrasse permet de stocker l'eau de pluie, qu'elle soit végétale (**éco-toit**) ou non, du fait de sa planéité. Il y a cependant deux aspects à considérer si celle-ci est envisagée. La première concerne la stabilité : le stockage de l'eau engendre des surcharges pondérales que la structure doit être à-même de reprendre. La deuxième concerne plus particulièrement l'éco-toit et l'incompatibilité de celui-ci avec la récupération de l'eau de pluie pour les usages nobles : l'eau qui transite par une toiture végétale se charge en matières organiques, pollution dont il faut ensuite la libérer.



**Toiture végétalisée au Canada**

# **- Annexe 2 - Pose de piézomètre**

Cette annexe contient 1 page

## Annexe 2 : Photos de pose d'un piézomètre



1



2



3



4



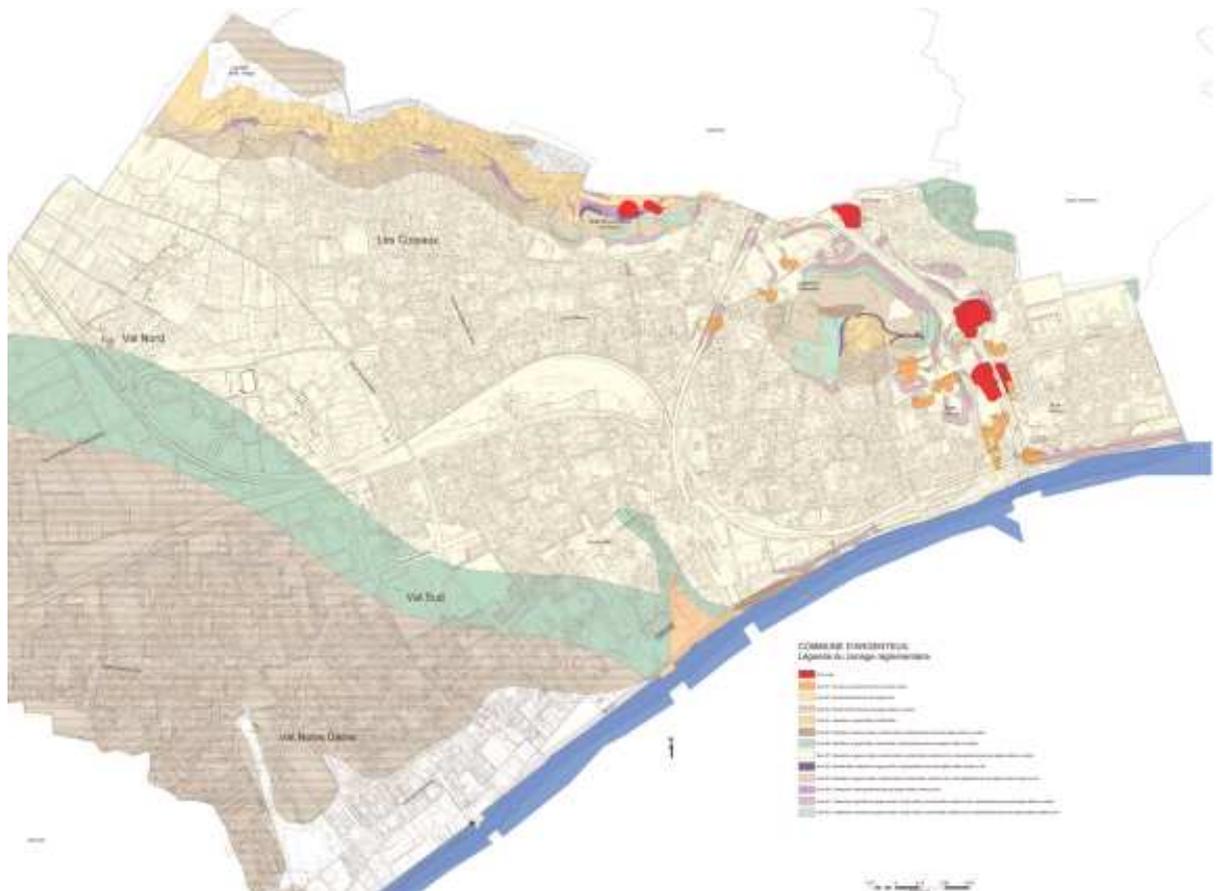
5



6

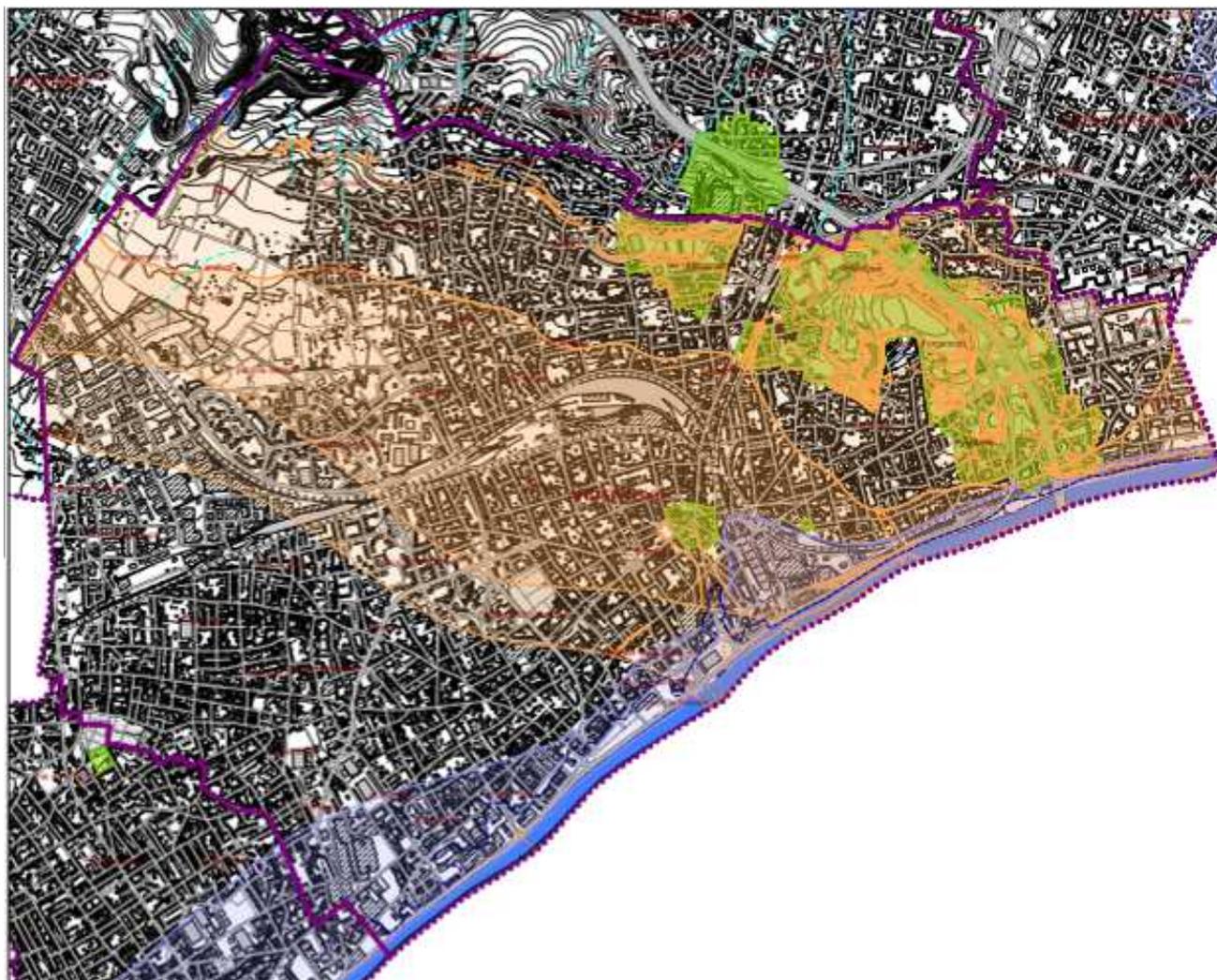
# **- Annexe 3 - Plan de Prévention de Mouvement de Terrain**

Cette annexe contient 3 pages



- Zone rouge
- Zone B1 : Carrières souterraines très fort en secteur urbain
- Zone B2 : Retrait-Gonflement des sols argileux fort
- Zone B3 : Retrait-Gonflement des sols argileux faible ou modéré
- Zone B4 : Dissolution du gypse faible, remblai faible
- Zone B5 : Dissolution du gypse modéré, remblai modéré, retrait-gonflement des sols argileux faible ou modéré
- Zone B6 : Dissolution du gypse faible, remblai faible, retrait-gonflement des sols argileux faible ou modéré
- Zone B7 : Dissolution du gypse modéré, remblai modéré, carrières faible, modéré ou fort, retrait-gonflement des sols argileux faible ou modéré
- Zone B8 : Remblai faible, dissolution du gypse faible, retrait-gonflement des sols argileux faible, modéré ou fort
- Zone B9 : Dissolution du gypse modéré, remblai modéré, carrières faible, modéré ou fort, retrait-gonflement des sols argileux faible, modéré ou fort
- Zone B10 : Glissement, retrait-gonflement des sols argileux faible, modéré ou fort
- Zone B11 : Glissement, dissolution du gypse modéré, remblai modéré, carrières faible, modéré ou fort, retrait-gonflement des sols argileux faible ou modéré
- Zone B12 : Glissement, dissolution du gypse modéré, remblai modéré, carrière faible, modéré ou fort, retrait-gonflement des sols argileux faible, modéré ou fort

Contraintes de sol et sous sol (Source DDE du Val d'Oise) :

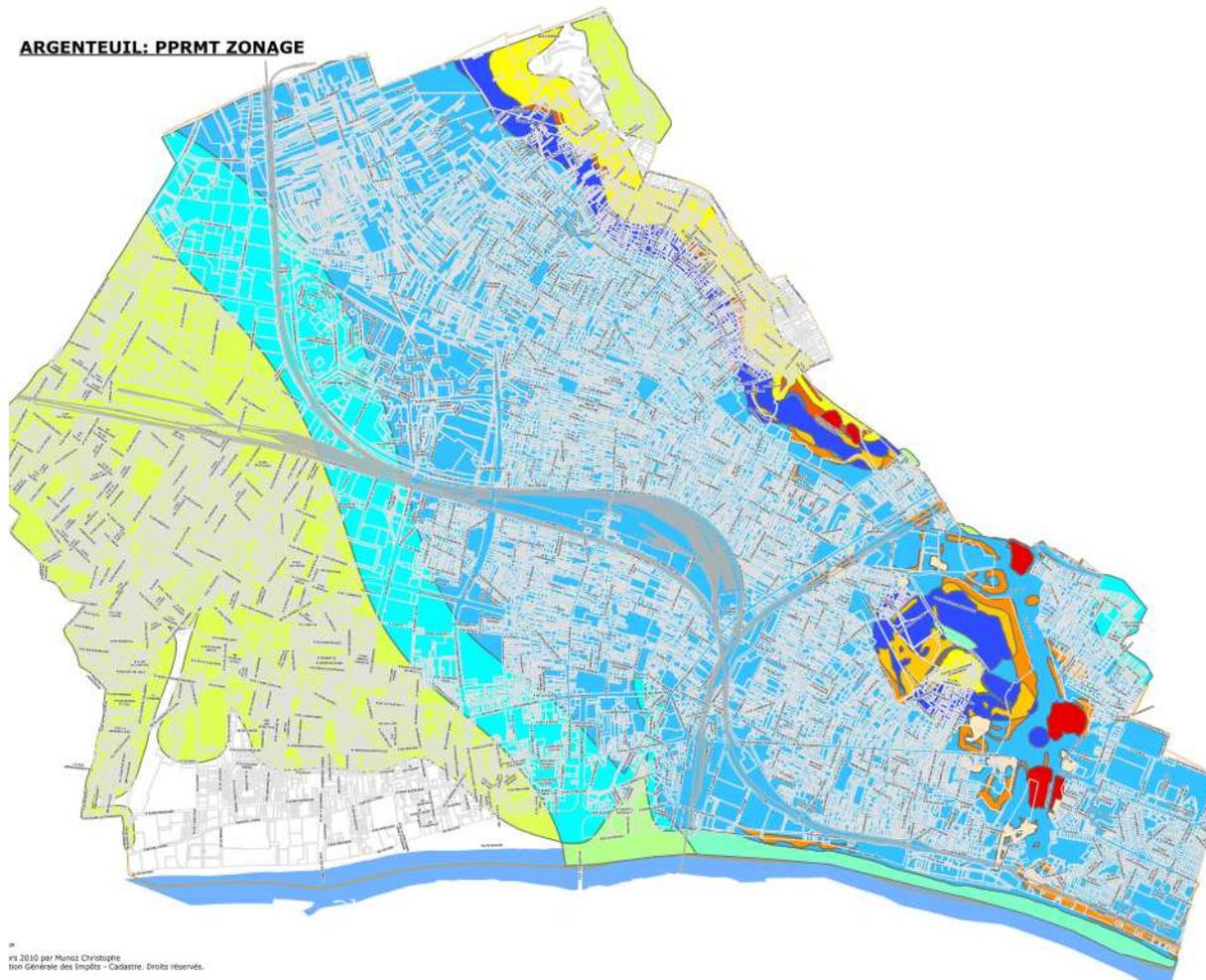


#### LEGENDE

-  Plan de prévention des risques de mouvement de terrain liés aux carrières souterraines abandonnées
-  Plan de prévention des risques d'inondation  
Limite des plus hautes eaux connues (PHEC)
-  Risque de mouvement de terrain (dissolution du gypse, glissement de terrain ou présence de remblais) (Source LROP)
-  Axes de ruissellement temporaire lors d'orages
-  Alluvions tourbeuses compressibles et risque de présence d'eau à faible profondeur
-  Limite communale
-  Cours d'eau

PPRMT : zonage (Source DDE du Val d'Oise)

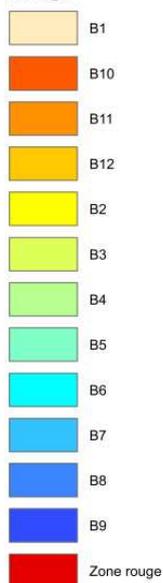
ARGENTEUIL: PPRMT ZONAGE



© 2010 par Muzoz Christophe  
 Non Généralisé des Implants - Cadastre. Droits réservés.

PPRMT

Zonage



Zone exposée à un ou plusieurs aléa(s) suivants :	Carrières	Retrait-gonflement des sols argileux	Dissolution du gypse	Remblai	Glissement
<b>B1</b>	Très fort et présence d'enjeux de développement urbain				
<b>B2</b>		Fort			
<b>B3</b>		Faible ou modéré			
<b>B4</b>			Faible	Faible	
<b>B5</b>		Faible ou modéré	Modéré	Modéré	
<b>B6</b>		Faible ou modéré	Faible	Faible	
<b>B7</b>	Faible, modéré ou fort	Faible ou modéré	Modéré	Modéré	
<b>B8</b>		Faible, modéré ou fort	Faible	Faible	
<b>B9</b>	Faible, modéré ou fort	Faible, modéré ou fort	Modéré	Modéré	
<b>B10</b>		Faible, modéré ou fort			Présent
<b>B11</b>	Faible, modéré ou fort	Faible ou modéré	Modéré	Modéré	Présent
<b>B12</b>	Faible, modéré ou fort	Faible, modéré ou fort	Modéré	Modéré	Présent

# **- Annexe 4 - Légendes des coupes géologiques de la zone d'étude**

Cette annexe contient 1 page



# **- Annexe 5 - Paramètres analysés lors des investigations**

Cette annexe contient 1 page

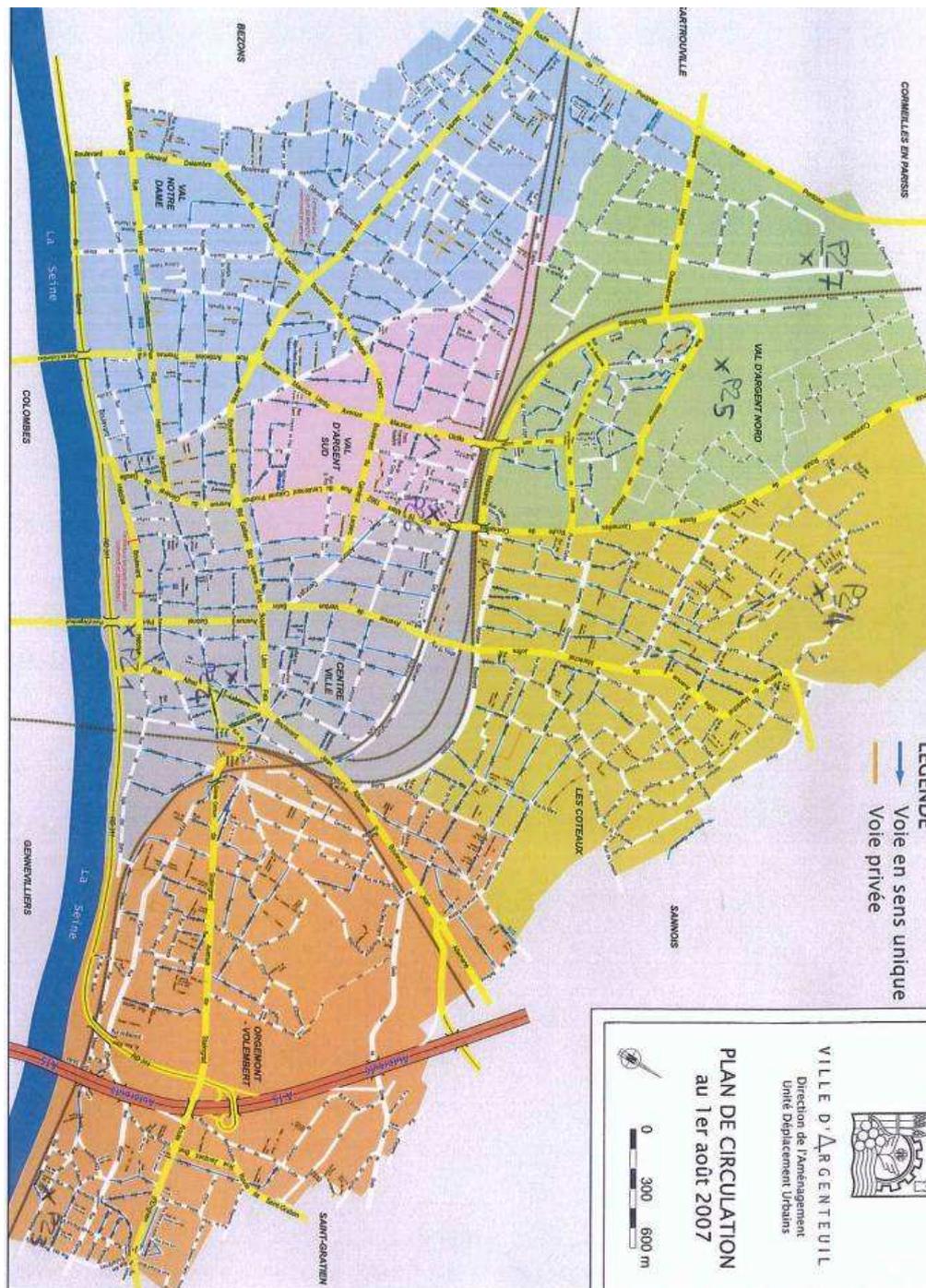
## Annexe 5 : Paramètres analysés lors des investigations

Paramètre d'influence	multi critères	Etudié dans projet	
Primaires	Humidité du sol	Non	
	Type de sol	Oui	
	Granulométrie	Oui	
	compaction du sol	Non	
	Macro structure du sol (gouffres et étanchéité du sous sol)	Non	
	hétérogénéité / homogénéité du sol	Oui / partiel	
	Etanchéité du sous sol	Oui / partiel	
	Evolution du colmatage	Non	
	Absorption du sol (perméabilité, capacité de rétention)	Non	
	Nature sol (pédologie)	Non	
	Géologie	Non	
	Topographie	Pente	Non
		Superficie de l'air de collecte	Oui / partiel
	Pluviométrie		Non
	occupation du sol	imperméabilisation	Oui
		couverture de sol	Oui
	occupation du sous sol anthropique	fondation qui représente un frein aux écoulements	Non
	Hydrogéologie	exutoire permanent	Non
		Point d'engouffrement / résurgences	Non
Axe de drainage du sous sol		Oui / partiel	
Niveau des eaux souterraines		Oui	
évaporation / évapotranspiration		Non	
Secondaire	Corrosion	Non	
	Erosion	Non	
	Intensité pluie / saturation du sol	Non	
	pressions atmosphériques	Non	
	humidité de l'air	Non	
	Vent	Non	
	Soleil	Non	
	interaction biologique dans le sol	Non	
	interaction chimique dans le sol	Non	

# **- Annexe 6 - Localisation des piézomètres**

Cette annexe contient 16 pages

## Annexe 6 : Localisation de la pose des piézomètres



## → Aspect géologique

Le site n°1 se situe sur le parking du boulevard Héloïse.



D'après la carte géologique de Paris Ouest au 1/25000ème et notre connaissance du secteur, la succession géologique attendue est la suivante :

- Alluvions,
- Sables de Beauchamp,

Les sondages ont traversé les formations suivantes :

- ✓ Les remblais ont été rencontrés au droit du sondage PZ1 jusqu'à 0,5 m de profondeur.  
Nous rappelons que ces matériaux d'origine anthropique peuvent être extrêmement hétérogènes, tant du point de vue de leur nature, que de celui des épaisseurs observées.  
En particulier, des blocs indurés de toutes dimensions peuvent y être rencontrés, ainsi que tout type de matériaux potentiellement évolutifs (fer, bois, plastique, béton, mâchefer ou autre...).Par ailleurs, leur hétérogénéité favorise l'apparition d'écoulements d'eau, lesquels peuvent provoquer leur remaniement (apparition de tassements, entraînement des fines,...).
- ✓ Les Sables gris vert ont été rencontrés sous les remblais jusqu'à la base de notre sondage située à 10 m de profondeur.  
La base de cette formation n'a pas été atteinte au droit de notre sondage.

## → Essai de perméabilité

L'essai a été réalisé entre 3,5 m et 4,5 m de profondeur au droit de PZ1.

Cet essai a été réalisé avec un débit d'injection de  $2,1 \cdot 10^{-5}$  m<sup>3</sup>/s. La perméabilité mesurée à la montée est de l'ordre de  $1,6 \cdot 10^{-6}$  m/s et la perméabilité mesurée à la descente est de l'ordre de  $2,4 \cdot 10^{-6}$  m/s.

Il est rappelé toutefois que les essais de perméabilité sont très ponctuels et permettent difficilement de fournir des informations précises sur la perméabilité réelle des horizons traversés. Un facteur de 10 doit être pris en compte pour pondérer ces résultats.

Il sera retenu donc une perméabilité de l'ordre de  $k = 1.10^{-6}$  m/s avec une perméabilité réelle pouvant être comprise entre  $10^{-5}$  m/s et  $10^{-7}$  m/s (ordre de grandeur).



→ Aspect géologique

Le site n°2 se situe sur le parking intérieur du centre de santé, rue Defresne-Baste.



D'après la carte géologique de Paris Ouest au 1/25000ème et notre connaissance du secteur, la succession géologique attendue est la suivante :

- Remblais urbains,
- Calcaire de Saint-Ouen,
- Sables de Beauchamp

Les sondages ont traversé les formations suivantes :

- ✓ Les remblais sous la forme de sables limoneux marron brun ont été rencontrés au droit du sondage PZ2 jusqu'à 0,6 m de profondeur.
- ✓ Les marno-calcaires beiges rosacés ont été rencontrés jusqu'à 5 m de profondeur.
- ✓ Les Sables gris vert ont été rencontrés sous les marno-calcaires jusqu'à la base de notre sondage située à 10 m de profondeur. La base de cette formation n'a pas été atteinte au droit de notre sondage.

→ Essai de perméabilité

L'essai a été réalisé entre 3,5 m et 4,5 m de profondeur au droit de PZ2.

Cet essai a été réalisé avec un débit d'injection de  $2,1 \cdot 10^{-5}$  m<sup>3</sup>/s. La perméabilité mesurée à la montée est de l'ordre de  $7,0 \cdot 10^{-6}$  m/s et la perméabilité mesurée à la descente est de l'ordre de  $2,0 \cdot 10^{-6}$  m/s.

Il est rappelé toutefois que les essais de perméabilité sont très ponctuels et permettent difficilement de fournir des informations précises sur la perméabilité réelle des horizons traversés. Un facteur de 10 doit être pris en compte pour pondérer ces résultats.

Il sera retenu donc une perméabilité de l'ordre de  $k = 1.10^{-6}$  m/s avec une perméabilité réelle pouvant être comprise entre  $10^{-5}$  m/s et  $10^{-7}$  m/s (ordre de grandeur).



→ Aspect géologique

Le site n°3 se situe au niveau du stade municipal, rue des Provençaux.



D'après la carte géologique de Paris Ouest au 1/25000ème et notre connaissance du secteur, la succession géologique attendue est la suivante :

- Remblais et/ou éboulis,
- Calcaire de Saint-Ouen,

Les sondages ont traversé les formations suivantes :

- ✓ Les remblais ont été rencontrés au droit du sondage PZ3 jusqu'à 0,5 m de profondeur et jusqu'à 4 m à 5 m au droit des sondages SC3 et T3. Nous notons que les sites au niveau des sondages T3 et SC3 semblent avoir fait l'objet de remblaiements suite à une exploitation à ciel ouvert du calcaire.
- ✓ Les Marnes et le calcaire ont été rencontrés sous les remblais jusqu'à la base de notre sondage située à 10 m de profondeur. La base de cette formation n'a pas été atteinte au droit de notre sondage.

→ Essai de perméabilité

L'essai a été réalisé entre 3,5 m et 4,5 m de profondeur au droit de PZ3.

Cet essai a été réalisé avec un débit d'injection de  $2,1 \cdot 10^{-5}$  m<sup>3</sup>/s. La perméabilité mesurée à la montée est de l'ordre de  $9,0 \cdot 10^{-7}$  m/s et la perméabilité mesurée à la descente est de l'ordre de  $5,5 \cdot 10^{-6}$  m/s.

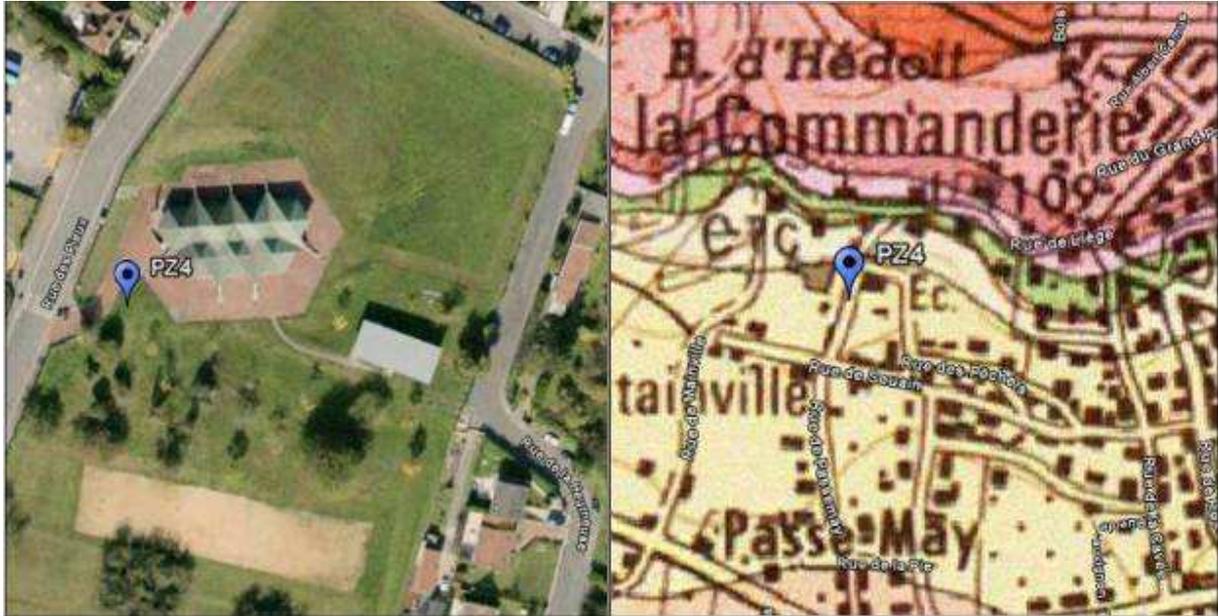
Il est rappelé toutefois que les essais de perméabilité sont très ponctuels et permettent difficilement de fournir des informations précises sur la perméabilité réelle des horizons traversés. Un facteur de 10 doit être pris en compte pour pondérer ces résultats.

Il sera retenu donc une perméabilité de l'ordre de  $k = 1 \cdot 10^{-7}$  m/s avec une perméabilité réelle pouvant être comprise entre  $10^{-6}$  m/s et  $10^{-8}$  m/s (ordre de grandeur).



→ Aspect géologique

Le site n°4 se situe Rue des Pieux (centre de loisir)



D'après la carte géologique de l'Isle-Adam au 1/50000ème et notre connaissance du secteur, la succession géologique attendue est la suivante :

- Eboulis,
- Masses et Marnes du Gypse,

Les sondages ont traversé les formations suivantes :

- ✓ Les remblais ont été rencontrés au droit du sondage PZ4 jusqu'à 0,3 m de profondeur.
- ✓ Les limons marron rencontrés jusqu'à 0,7 m de profondeur.
- ✓ Les Sables beige ont été rencontrés sous les formations de surface jusqu'à 4,5 m de profondeur
- ✓ Les Sables marneux ont été rencontrés au-delà jusqu'à la base de notre sondage située à 10 m de profondeur. La base de cette formation n'a pas été atteinte au droit de notre sondage.

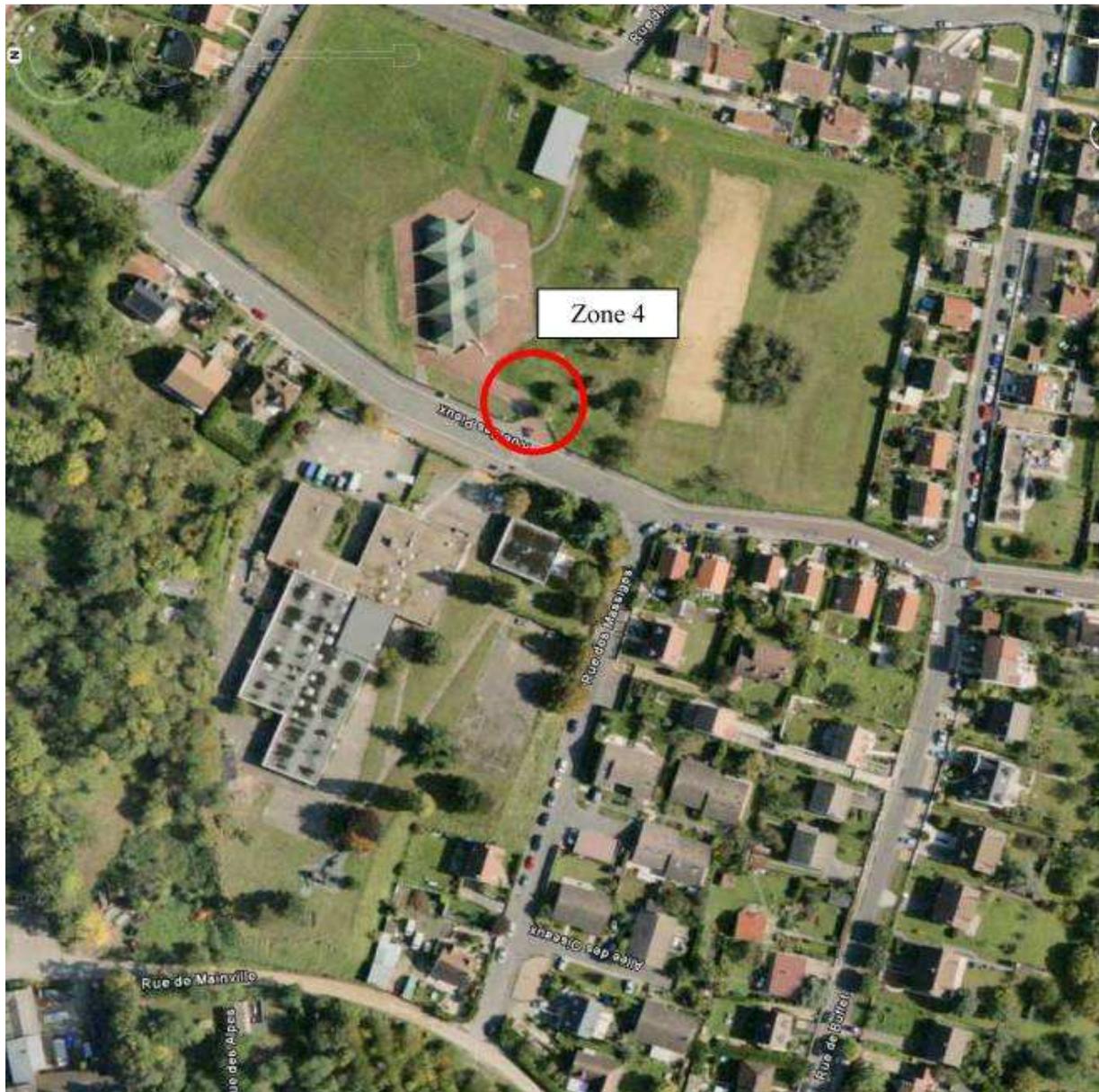
→ Essai de perméabilité

L'essai a été réalisé entre 3,5 m et 4,5 m de profondeur au droit de PZ4.

Cet essai a été réalisé avec un débit d'injection de  $2,1 \cdot 10^{-5}$  m<sup>3</sup>/s. La perméabilité mesurée à la montée est de l'ordre de  $3,4 \cdot 10^{-6}$  m/s et la perméabilité mesurée à la descente est de l'ordre de  $2,7 \cdot 10^{-6}$  m/s.

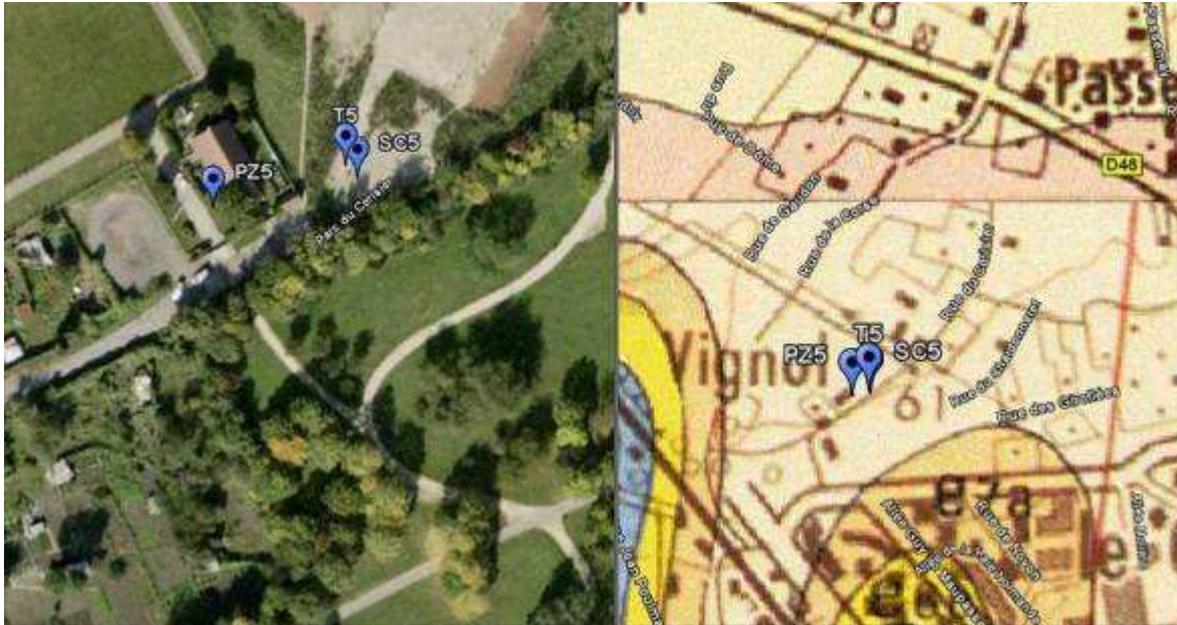
Il est rappelé toutefois que les essais de perméabilité sont très ponctuels et permettent difficilement de fournir des informations précises sur la perméabilité réelle des horizons traversés. Un facteur de 10 doit être pris en compte pour pondérer ces résultats.

Il sera retenu donc une perméabilité de l'ordre de  $k = 1 \cdot 10^{-6}$  m/s avec une perméabilité réelle pouvant être comprise entre  $10^{-5}$  m/s et  $10^{-7}$  m/s (ordre de grandeur).



### → Aspect géologique

Le site n°5 se situe à l'arrière du Parc des Cerisiers.



D'après la carte géologique de Paris Ouest au 1/25000ème et notre connaissance du secteur, la succession géologique attendue est la suivante :

- Eboulis,
- Masses et Marnes du Gypse,

Les sondages ont traversé les formations suivantes :

- ✓ Des remblais ont été rencontrés au droit du sondage PZ5 jusqu'à 1,5 m de profondeur et jusqu'à 3,0 m à 5,0 m de profondeur au droit des sondages SC5 et T5.
- ✓ Au-delà, des marnes beiges avec cailloutis calcaire ont été jusqu'à la base de notre sondage située à 10 m de profondeur. La base de cette formation n'a pas été atteinte au droit de notre sondage.

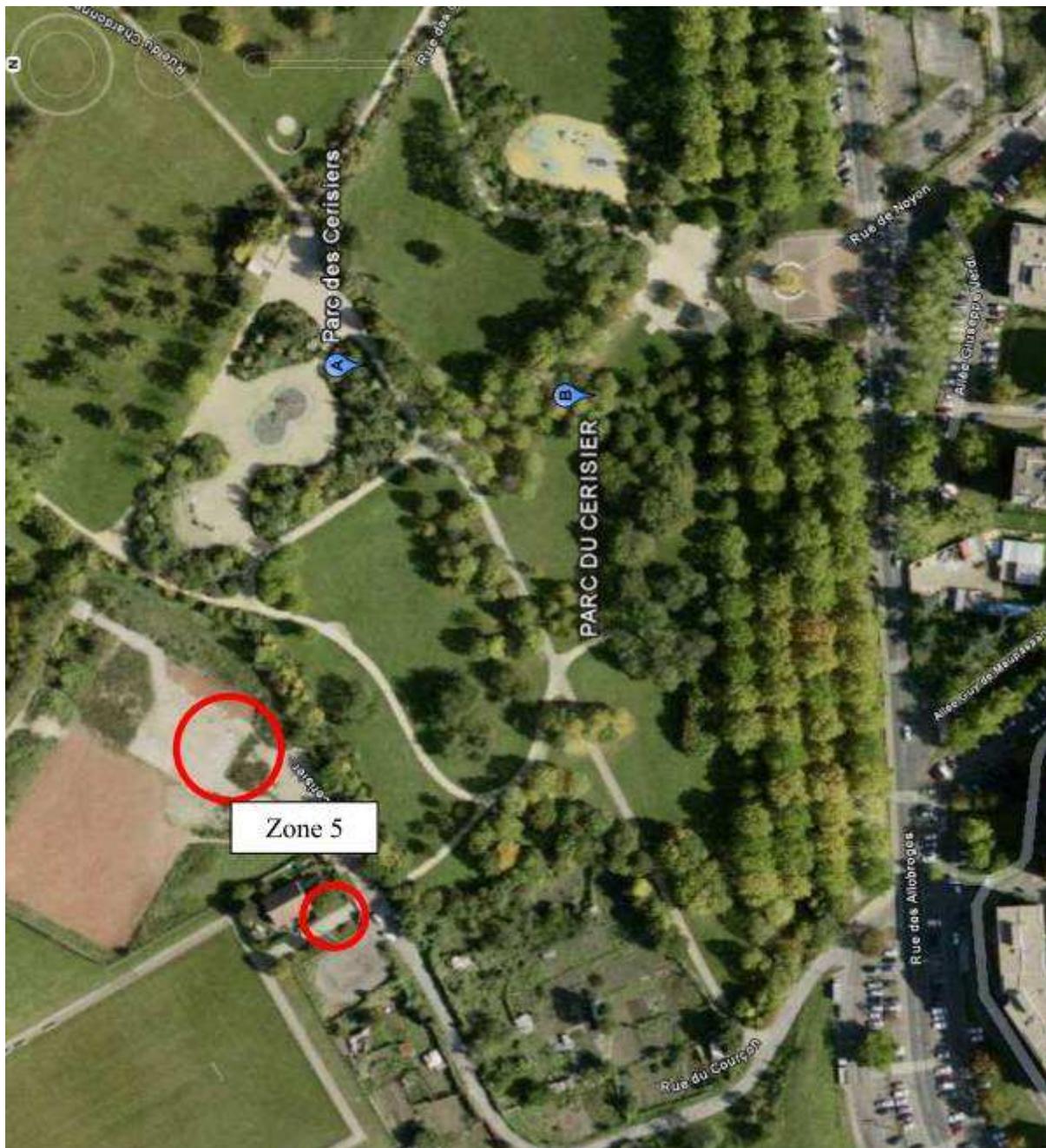
### → Essai de perméabilité

L'essai a été réalisé entre 3,5 m et 4,5 m de profondeur au droit de PZ5.

Cet essai a été réalisé avec un débit d'injection de  $2,1 \cdot 10^{-5}$  m<sup>3</sup>/s. La perméabilité mesurée à la montée est de l'ordre de  $4,5 \cdot 10^{-6}$  m/s et la perméabilité mesurée à la descente est de l'ordre de  $1,9 \cdot 10^{-6}$  m/s.

Il est rappelé toutefois que les essais de perméabilité sont très ponctuels et permettent difficilement de fournir des informations précises sur la perméabilité réelle des horizons traversés. Un facteur de 10 doit être pris en compte pour pondérer ces résultats.

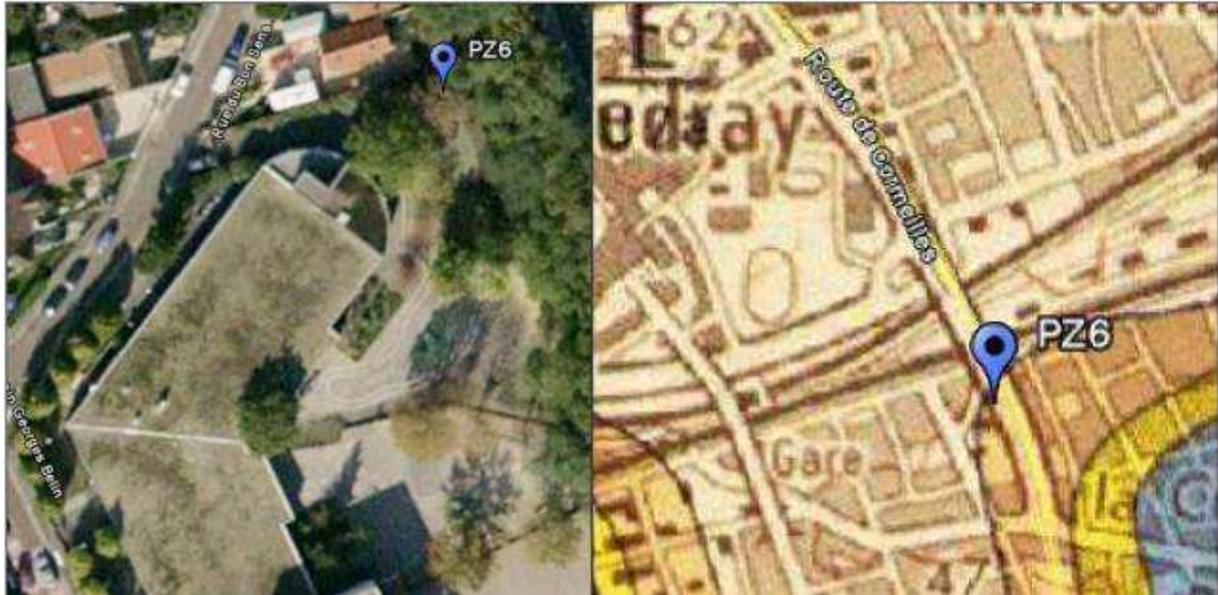
Il sera retenu donc une perméabilité de l'ordre de  $k = 1 \cdot 10^{-6}$  m/s avec une perméabilité réelle pouvant être comprise entre  $10^{-5}$  m/s et  $10^{-7}$  m/s (ordre de grandeur).



## Site 6

### → Aspect géologique

Le site n°6 se situe au fond de l'entrée de l'école maternelle, rue du bon sens.



D'après la carte géologique de Paris Ouest au 1/25000ème et notre connaissance du secteur, la succession géologique attendue est la suivante :

- Masses et Marnes du Gypse,

Les sondages ont traversé les formations suivantes :

- ✓ Les remblais ont été rencontrés au droit du sondage PZ6 jusqu'à 1,2 m de profondeur.
- ✓ Les sables beiges ont été observés sous les remblais jusqu'à 2,5 m de profondeur.
- ✓ Les Marno-calcaires beiges à verdâtres ont été rencontrés sous les sables jusqu'à la base de notre sondage située à 10 m de profondeur. La base de cette formation n'a pas été atteinte au droit de notre sondage.

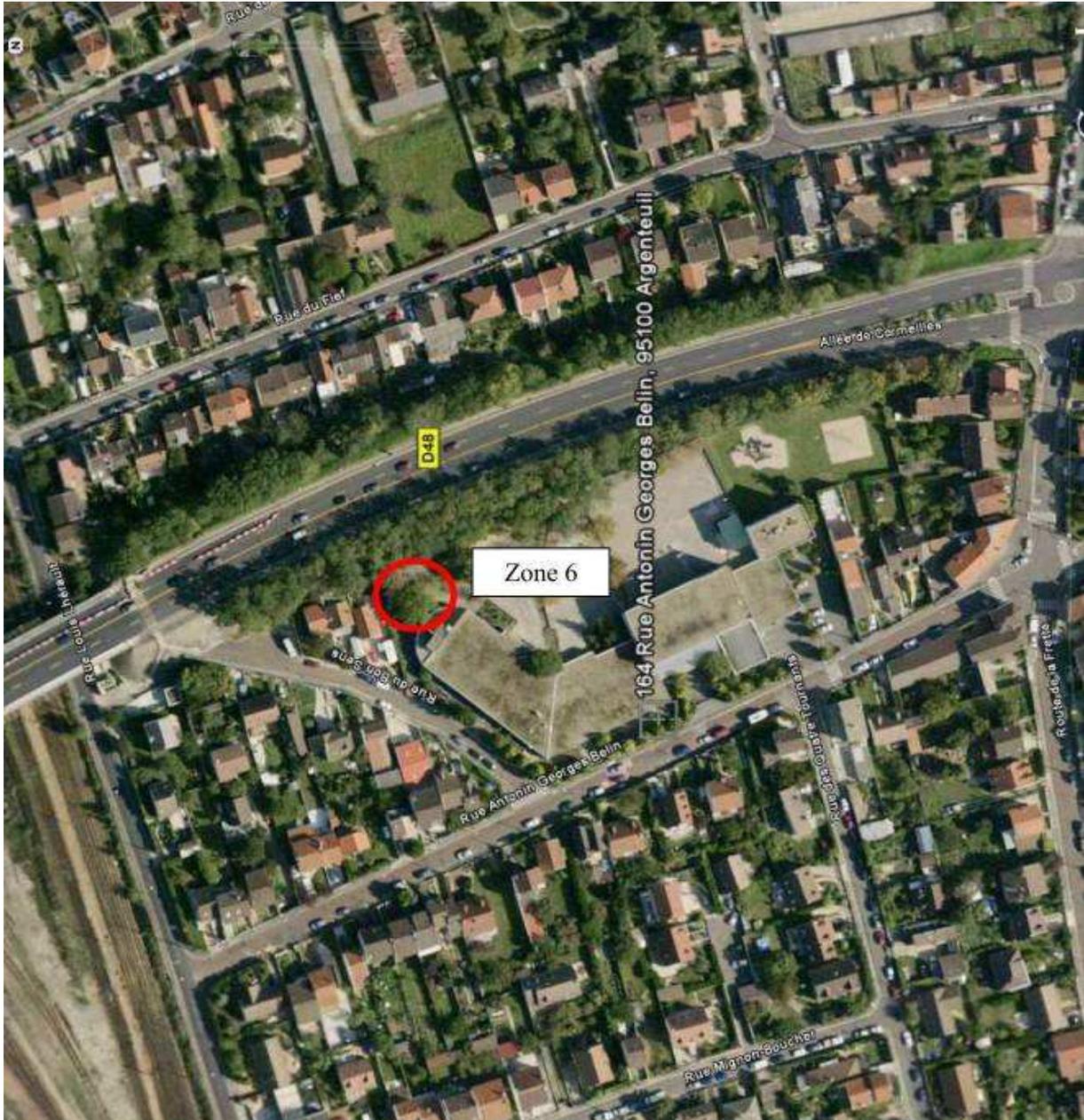
### → Essai de perméabilité

L'essai a été réalisé entre 3,5 m et 4,5 m de profondeur au droit de PZ6.

Cet essai a été réalisé avec un débit d'injection de  $2,1 \cdot 10^{-5}$  m<sup>3</sup>/s. La perméabilité mesurée à la montée est de l'ordre de  $2,5 \cdot 10^{-6}$  m/s et la perméabilité mesurée à la descente est de l'ordre de  $4,1 \cdot 10^{-7}$  m/s.

Il est rappelé toutefois que les essais de perméabilité sont très ponctuels et permettent difficilement de fournir des informations précises sur la perméabilité réelle des horizons traversés. Un facteur de 10 doit être pris en compte pour pondérer ces résultats.

Il sera retenu donc une perméabilité de l'ordre de  $k = 1.10^{-7}$  m/s avec une perméabilité réelle pouvant être comprise entre  $10^{-6}$  m/s et  $10^{-8}$  m/s (ordre de grandeur).



### → Aspect géologique

Le site n°7 se situe sur le parking du dépôt de FONDASOL au 21, rue Jean Poulmarch.



D'après la carte géologique de Paris Ouest au 1/25000ème et notre connaissance du secteur, la succession géologique attendue est la suivante :

- Remblais urbains,
- Sables et Marnes Infragypseux
- Sables de Monceau,
- Calcaire de Saint-Ouen.

Les sondages ont traversé les formations suivantes :

- ✓ Les remblais ont été rencontrés au droit du sondage PZ7 jusqu'à 0,7 m de profondeur.
- ✓ Les marnes sableuses gris beige et les marnes calcaires blanchâtres ont été rencontrées sous les remblais jusqu'à 5,0 m de profondeur.
- ✓ Les sables gris-vert ont été observés sous les marnes jusqu'à 6,5 m de profondeur.
- ✓ Le calcaire blanchâtre a été rencontré sous les sables jusqu'à la fin de notre sondage à 10,0 m de profondeur. La base de cette formation n'a pas été atteinte au droit de notre sondage.

### → Essai de perméabilité

L'essai a été réalisé entre 3,5 m et 4,5 m de profondeur au droit de PZ7.

Cet essai a été réalisé avec un débit d'injection de  $2,1 \cdot 10^{-5}$  m<sup>3</sup>/s. La perméabilité mesurée à la montée est de l'ordre de  $1,8 \cdot 10^{-6}$  m/s et la perméabilité mesurée à la descente est de l'ordre de  $5,0 \cdot 10^{-6}$  m/s.

Il est rappelé toutefois que les essais de perméabilité sont très ponctuels et permettent difficilement de fournir des informations précises sur la

perméabilité réelle des horizons traversés. Un facteur de 10 doit être pris en compte pour pondérer ces résultats.

Il sera retenu donc une perméabilité de l'ordre de  $k = 1.10^{-6}$  m/s avec une perméabilité réelle pouvant être comprise entre  $10^{-5}$  m/s et  $10^{-7}$  m/s (ordre de grandeur).

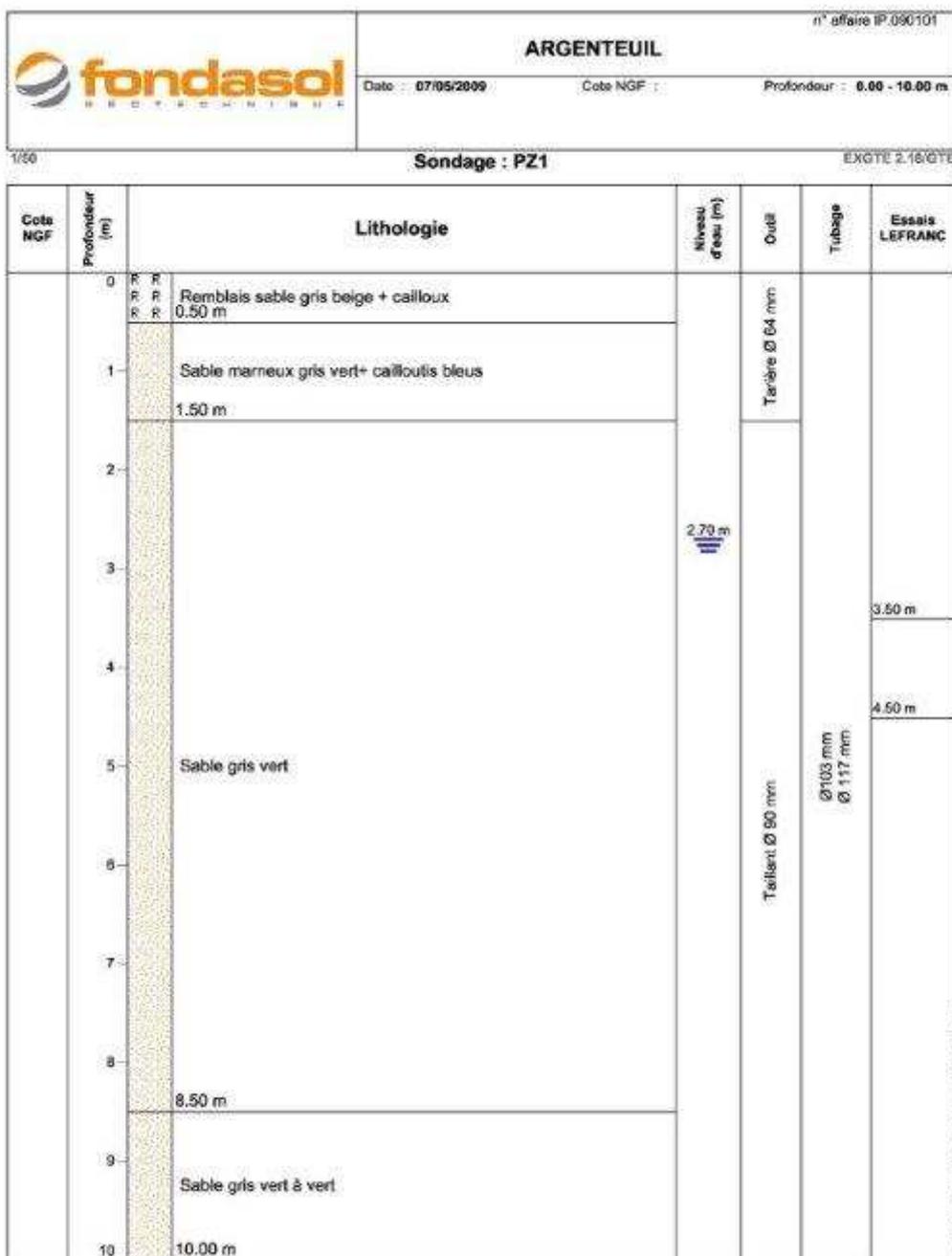


# **- Annexe 7 - Coupes verticales géologiques**

Cette annexe contient 7 pages

# Annexe 7 : Coupe verticale géologiques

## PZ 1



# PZ 2

	<b>ARGENTEUIL</b>		n° affaire IP.090101
	Date : 06/05/2009	Cote NGF :	Profondeur : 0.00 - 11.00 m

1/50

Sondage : PZ2

EXGTE 2.16/GTE

Cote NGF	Profondeur (m)	Lithologie	Niveau d'eau (m)	Outil	Tubage	Essais LEFRANC	
	0	Sable limoneux marron brun + petits silex 0.80 m		Tarbière Ø 64 mm			
	1	Mame calcaire beige rosacé		Tarière Ø 80 mm			
	2						
	3						3.50 m
	4						4.50 m
	5	5.00 m			Ø 117 mm		
	6	Sable gris verdâtre					
	7	7.80 m					
	8	Sable vert					
	9						
	10	10.00 m					

Argenteuil JEAN LUTZ S.A. - www.jeanlutz.fr

page 1/2

# PZ 3

	<b>ARGENTEUIL</b>			n° affaire IP.090101
	Date : 04/05/2009	Cote NGF :	Profondeur : 6.00 - 11.00 m	

1/50

Sondage : PZ3

EXGTE 2.16/GTE

Cote NGF	Profondeur (m)	Lithologie	Niveau d'eau (m)	Outil	Tubage	Essais LEFRANC
	0	Terre végétale marron 0.20 m				
		Remblais argilo-mameux brun à gris vert 0.50 m				
	1	Argile verte 1.20 m		Tarbière Ø 64 mm		
		Argile verdâtre à blanchâtre 1.50 m				
	2		2.00 m			
	3	Mame grisâtre				
	4	4.00 m				3.50 m
	5					4.50 m
	6	Mame gris vert		Taillart Ø 90 mm	Ø 103 Ø 117	
	7					
	8	8.00 m				
	9	Mame gris bleuté à gris vert				
	10	10.00 m				

English JEAN LUTZ S.A. - www.jeandlutz.com

page 1/2

# PZ 4

	<b>ARGENTEUIL</b>		n° affaire IP.090101
	Date : 05/05/2009	Cote NGF :	Profondeur : 0.00 - 11.00 m

1/50

Sondage : PZ4

EXGTE 2.16/GTE

Cote NGF	Profondeur (m)	Lithologie	Niveau d'eau (m)	Outil	Tubage	Essais LEFRANC
	0	Remblais limoneux sableux brun noir + cailloux 0.30 m		Taraire Ø 64 mm		
		Limons marron + Mame sableuse beige 0.70 m				
	1	Sable marneux 1.50 m				
	2					
	3	Sable beige				3.50 m
	4					4.50 m
	5					
	6			Taraire Ø 90 mm		
	7	Sable marneux marron beige	7.15 m			
	8					
	9					
	10	10.00 m				

English JEAN LUTZ S.A. - www.jeandlutz.fr

page 1/2

# PZ 5

	<b>ARGENTEUIL</b>		n° affaire IP.090101
	Date : 30/04/2009	Cote NGF :	Profondeur : 0.00 - 10.00 m

1/50

Sondage : PZ5

EXGTE 2.16/GTE

Cote NGF	Profondeur (m)	Lithologie	Niveau d'eau (m)	Outil	Tubage	Essais LEFRANC
	0	Terre végétale marron 0.20 m				
	1	Remblais argileux brun noir 1.50 m				
	2		1.90 m			
	3	Marne beige				3.50 m
	4					4.50 m
	5			Talibart Ø 90 mm		
	6	Marne jaunâtre			Ø 117 mm	
	7					
	8					
	9	Marne blanchâtre				
	10	10.00 m			10.00 m	

Argenteuil JEAN LUTZ S.A. - www.jeanlutz.com.fr

# PZ 6

	<b>ARGENTEUIL</b>		n° affaire IP.090101
	Date : 29/04/2009	Cote NGF :	Profondeur : 0.00 - 10.00 m

1/50

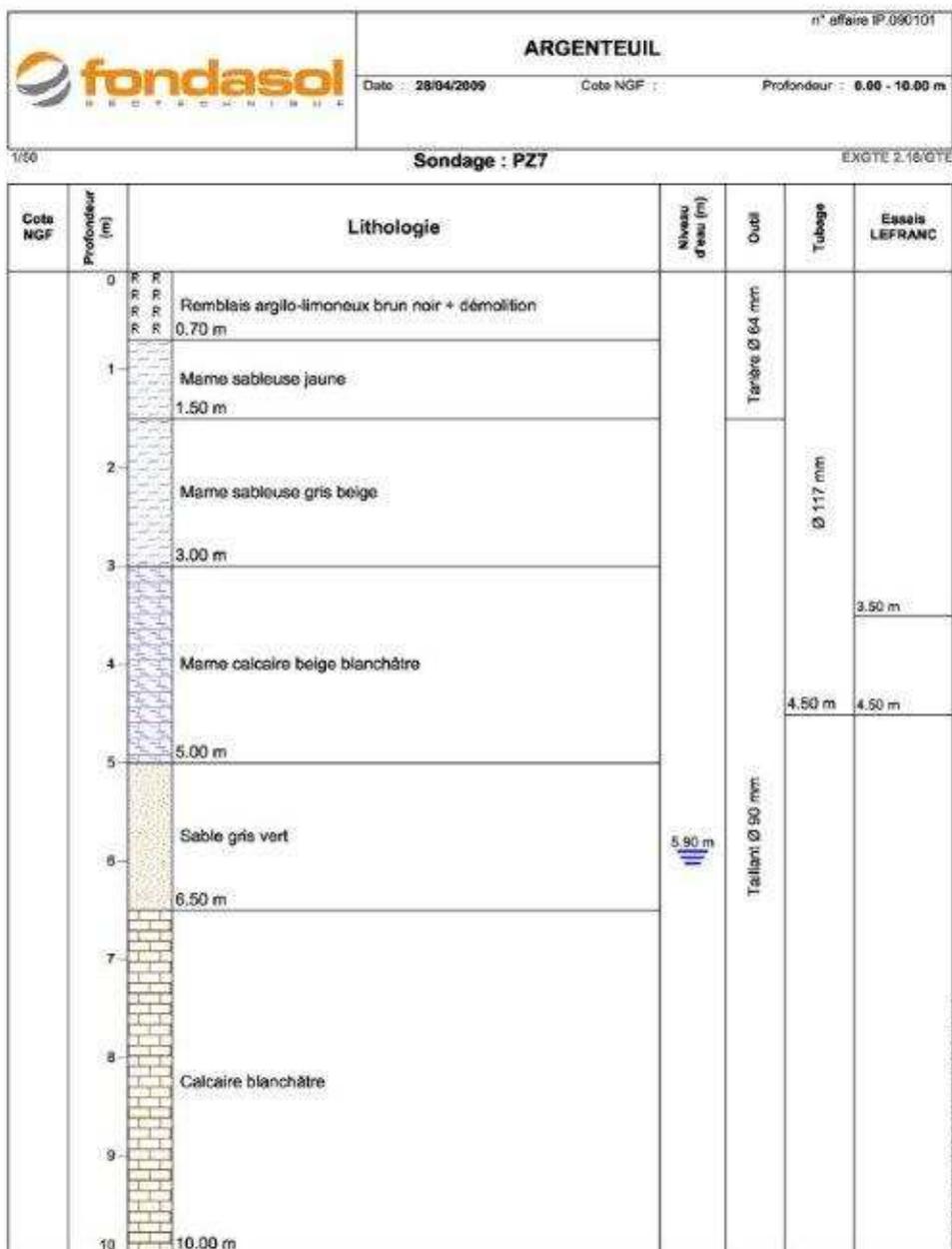
Sondage : PZ6

EXGTE 2.16/GTE

Cote NGF	Profondeur (m)	Lithologie	Niveau d'eau (m)	Outil	Tubage	Essais LEFRANC
	0	Terre végétale marron sableuse + Remblais 0.20 m		Taraire Ø 64 mm		
	1	Sable jaune ocre + Remblais argile 1.20 m				
		Sable brun + cailloux 1.50 m				
	2	Sable beige 2.50 m		Tailant Ø 90 mm	Ø 117 mm	
	3	Marnes calcaires blanchâtre 3.50 m				
	4	Marnes calcaires beige verdâtre 4.50 m				
	5					
	6	Marnes verdâtre 7.50 m	7.50 m			
	7			Tailant Ø 90 mm	Ø 117 mm	
	8					
	9	Marnes blanches 10.00 m				
	10					

English JEAN LUTZ S.A. - www.jeandlutz.fr

# PZ 7



# **- Annexe 8 - Carottages et coupes des zones d'infiltration**

Cette annexe contient 6 pages

# Annexe 8 : Carottages et coupes des zones d'infiltration

## T 3

Cote NGF		Profondeur (m)		Lithologie	Niveau d'eau (m)	Outil	Tubage	Essais LEFRANC
0		0.20 m		Remblais gris + limons sableux marron à gris				
0		0.50 m		Remblais limon gris + limons sableux à argileux marron beige à gris				
1		0.70 m		Remblais limon sableux marron, passées marneuses blanchis				
2		3.50 m		Remblais limon argileux gris noirâtre + cailloutis + brique		Tarble Ø 84 mm		
4		4.50 m		Argile marneuse beige à marron				
5		5.00 m		Marne beige sableuse + limons marron + débris de brique				
6								
7								
8								
9								
10								

# SCC

	<b>ARGENTEUIL</b>			n° affaire IP.090101
	Date : 04/05/2009	Cote NGF :	Profondeur : 0.00 - 5.00 m	

1/50 Sondage : SCC EXGTE 2.16/GTE

Cote NGF	Profondeur (m)	Lithologie	Niveau d'eau (m)	Outil	Tube	Essais LEFRANC
	0	Remblais de démolition (briques rouges, béton) et Remblais marneux grisâtre		Tailant Ø 50 mm		
	1					
	1.40 m	Remblais limoneux brun, débris bois, débris de démolition, Mâchefer				
	2.00 m					
	2	Remblais marneux beige à gris beige à bleu				
	3					
	4					
	4.00 m					
	5	Caillasses calcaire dur				
	5.00 m					
	6					
	7					
	8					
	9					
	10					

Logiciel JEAN LUTZ S.A. - www.jeanlutz.com

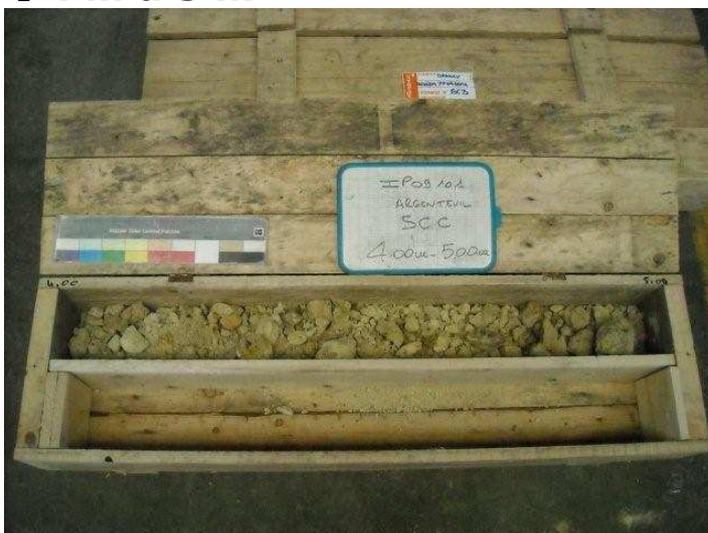
→0 m à 2 m



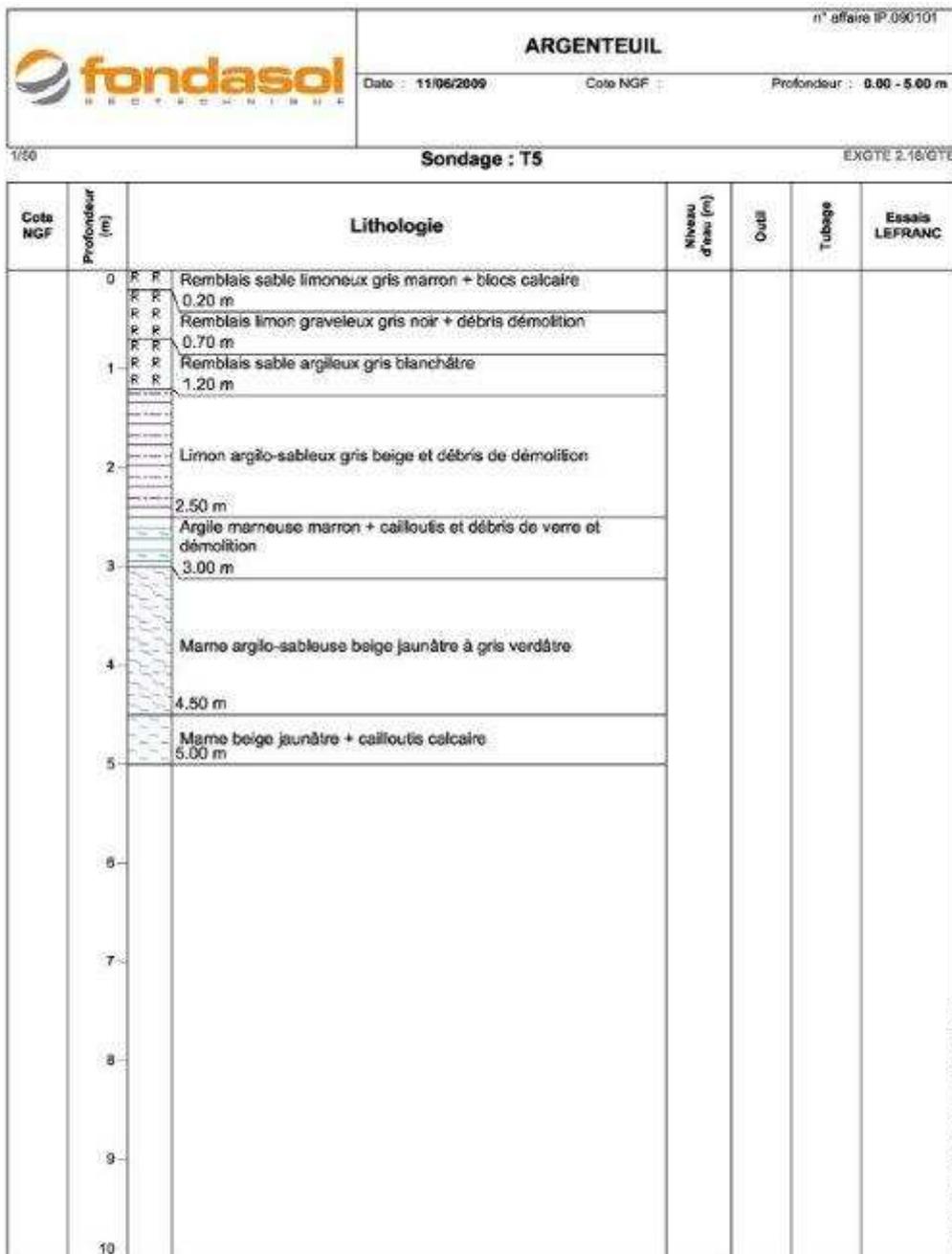
→2 m à 4 m



→4 m à 5 m



# T 5



# SCD

	<b>ARGENTEUIL</b>			n° affaire IP.090101
	Date : 05/05/2009	Cote NGF :	Profondeur : 0.00 - 5.00 m	

1/50

Sondage : SCD

EXGTE 2.16/GTE

Cote NGF	Profondeur (m)	Lithologie	Niveau d'eau (m)	Outil	Tubage	Essais LEFRANC
	0	Remblais argilo-mameux brun à noirâtre avec débris de démolition de briques rouges + béton + caillasses  3.20 m  Remblais mameux graveleux beige gris-beige à jaunâtre + Gypse saccharoïde  5.00 m				
	0.1					
	0.2					
	0.3					
	0.4					
	0.5					
	0.6					
	0.7					
	0.8					
	0.9					
	1.0					
	1.1					
	1.2					
	1.3					
	1.4					
	1.5					
	1.6					
	1.7					
	1.8					
	1.9					
	2.0					
	2.1					
	2.2					
	2.3					
	2.4					
	2.5					
	2.6					
	2.7					
	2.8					
	2.9					
	3.0					
	3.1					
	3.2					
	3.3					
	3.4					
	3.5					
	3.6					
	3.7					
	3.8					
	3.9					
	4.0					
	4.1					
	4.2					
	4.3					
	4.4					
	4.5					
	4.6					
	4.7					
	4.8					
	4.9					
	5.0					
	6					
	7					
	8					
	9					
	10					

Argenteuil JEAN LUTZ S.A. - www.jeanlutz.com.fr

→0 m à 2 m



→2 m à 4 m



→4 m à 5 m



# **- Annexe 9 - Interprétation de l'évolution des piézomètres**

Cette annexe contient 10 pages

## Annexe 9 : Interprétation de l'évolution des piézomètres

### ➤ Piézomètre 1

Voici le graphique de superposition du niveau du piézomètre 1 en fonction des pluies rencontrées sur Argenteuil lors des investigations de terrain :

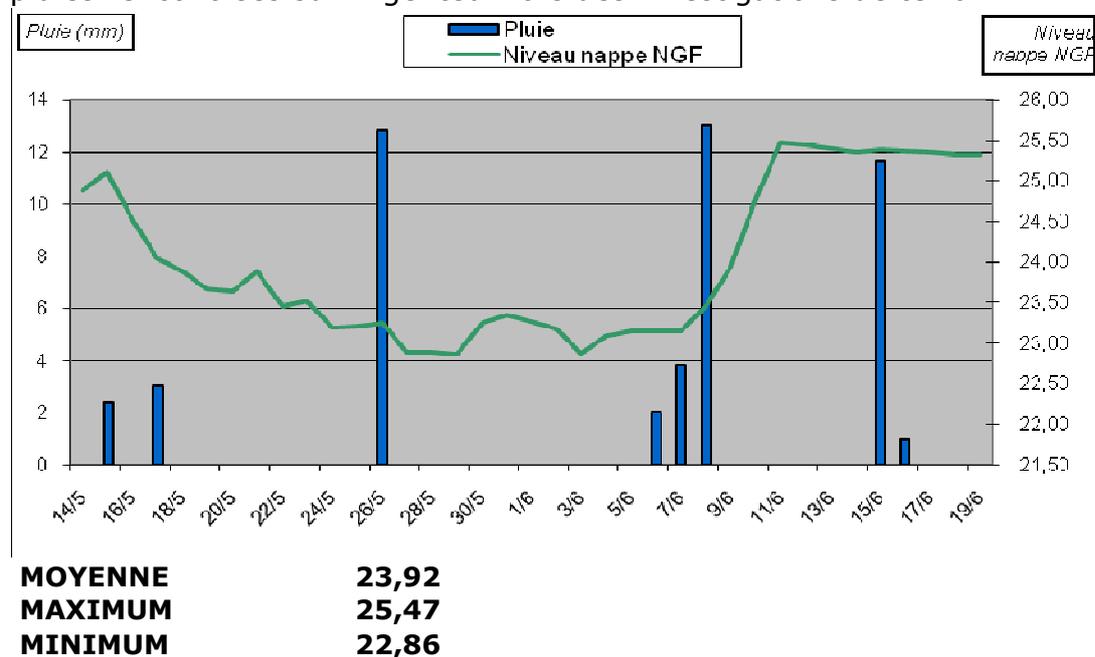


Figure 78 : Evolution du PZ1 en fonction du temps et de la pluie

La variation est de 2,61 m.

Ce graphique permet d'avoir plusieurs orientations :

- Les faibles pluies (type du 15 et 17/05) ne sont pas retranscrites à travers l'évolution des niveaux piézométriques. Ceci peut s'expliquer par le fait que les faibles pluies sont amorties ou stockées par la variation de l'humidité du sol de sub-surface.
- La nappe voit son niveau diminuer compte tenu d'une non réalimentation par les pluies.
- La forte pluie du 8/06 (cf. tableau 10) a permis d'atteindre de nouveau une valeur haute et les variations sont cohérentes avec la pluviométrie observée.

Il reste deux points relativement flous :

- La pluie du 26/05 ne s'est pas traduite par une évolution du niveau de la nappe. Ceci amène à poser quelques questions : a-t-il plu sur ce secteur ? Y'a t'il des chemins préférentiels des eaux qui ont cheminé ? Y a-t-il eu une réalimentation d'une nappe plus profonde qui a enrayé le tarissement ?
- La pluie du 15/06 n'a pas entraîné de variation de nappe. Ceci amène à poser quelques questions : Est-ce que la nappe a atteint son niveau maximum ?

Quels sont les liens qu'il peut y avoir entre les autres nappes ? Les écoulements souterrains peuvent-ils être facilement identifiables ? et maîtrisables pour éviter tout désordre ?

Voici le graphique de superposition du niveau du piézomètre 1 en fonction du niveau de la Seine à Argenteuil lors des investigations de terrain :

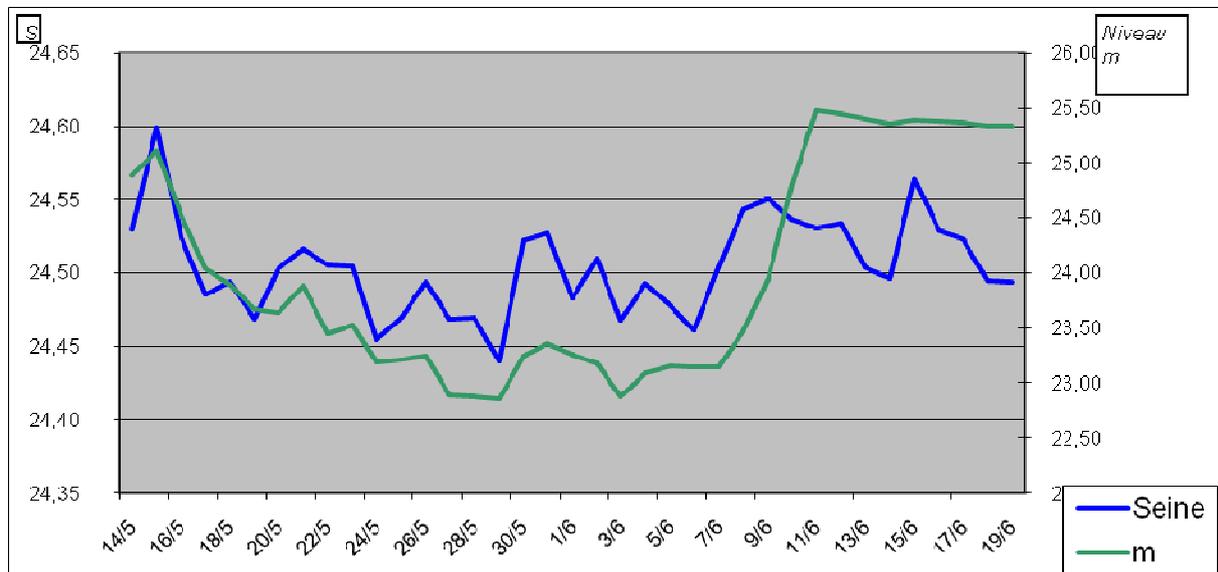


Figure 79 : Evolution du PZ1 en fonction du temps et du niveau de la Seine

Ce graphique met en évidence les relations entre le PZ1 et la Seine, les évolutions de variation sont semblables. Le PZ1 a une variation légèrement plus ample.

Le graphique (figure 80) suivant ne permet pas d'évaluer l'évolution des niveaux de la nappe en fonction du pluviomètre. Il ne peut pas être fait d'interprétation compte tenu des comportements différents du niveau de la nappe en temps de pluie.

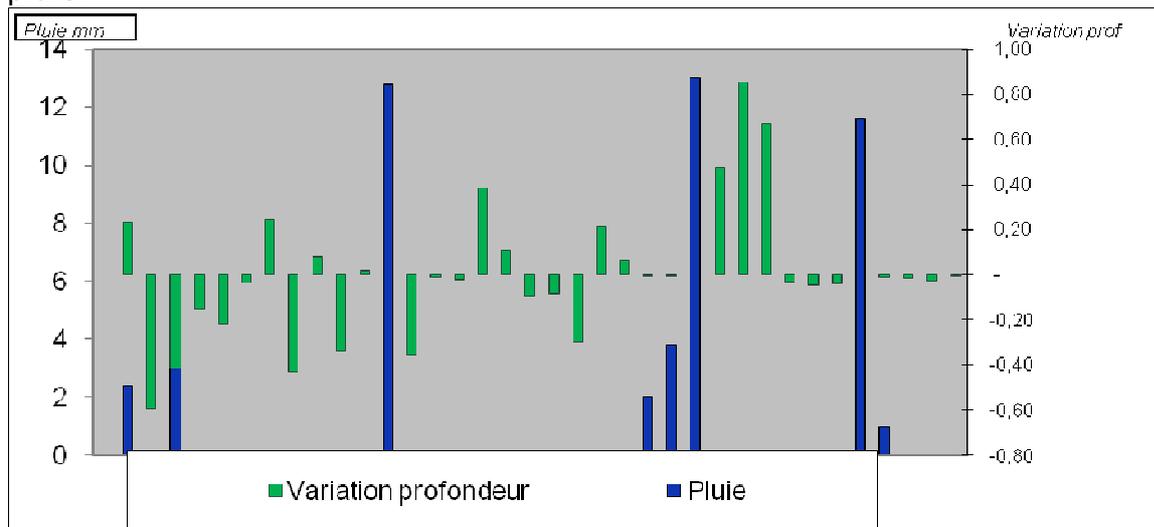


Figure 80 : Evolution relative du PZ1 en fonction du temps et de la pluie

Chaque épisode pluvieux entraine un comportement différent de la nappe.

## ➤ Piézomètre 2

Voici le graphique de superposition du niveau du piézomètre 2 avec les pluies rencontrées sur Argenteuil :

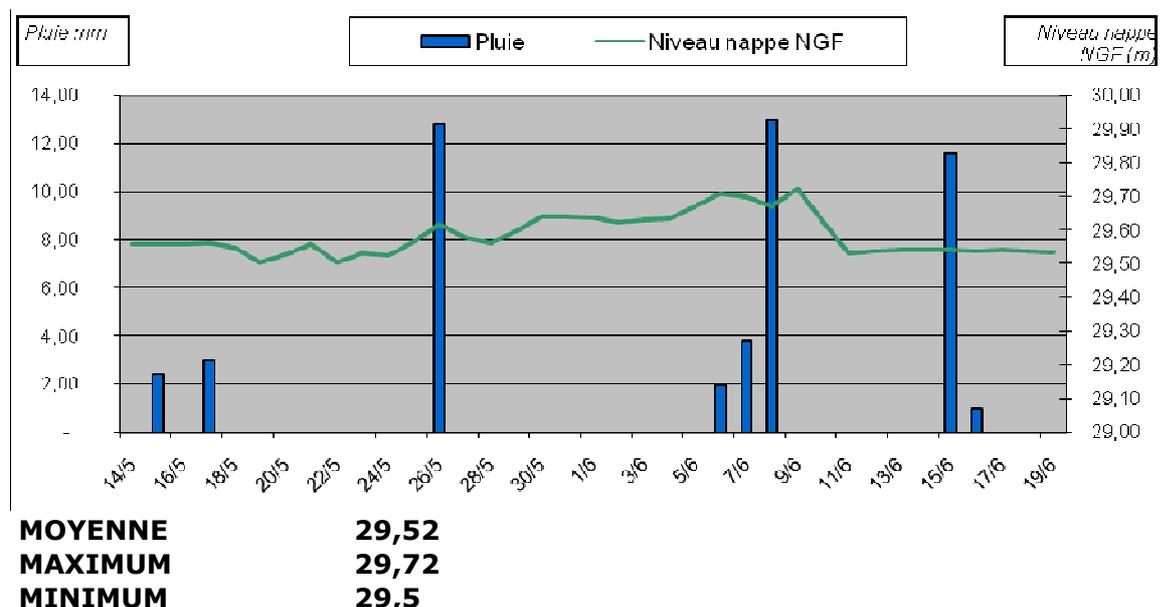


Figure 81 : Evolution du PZ2 en fonction du temps et de la pluie

La variation est de 0,22 m.

L'information essentielle à retenir de ces mesures est que la nappe mesurée est insensible aux précipitations. Compte tenu des éléments collectés, le niveau mesuré est le niveau de la nappe alluviale (qui elle, varie au maximum de 0,25 m).

Voici le graphique de superposition du niveau du piézomètre 2 avec le niveau de la Seine à Argenteuil :

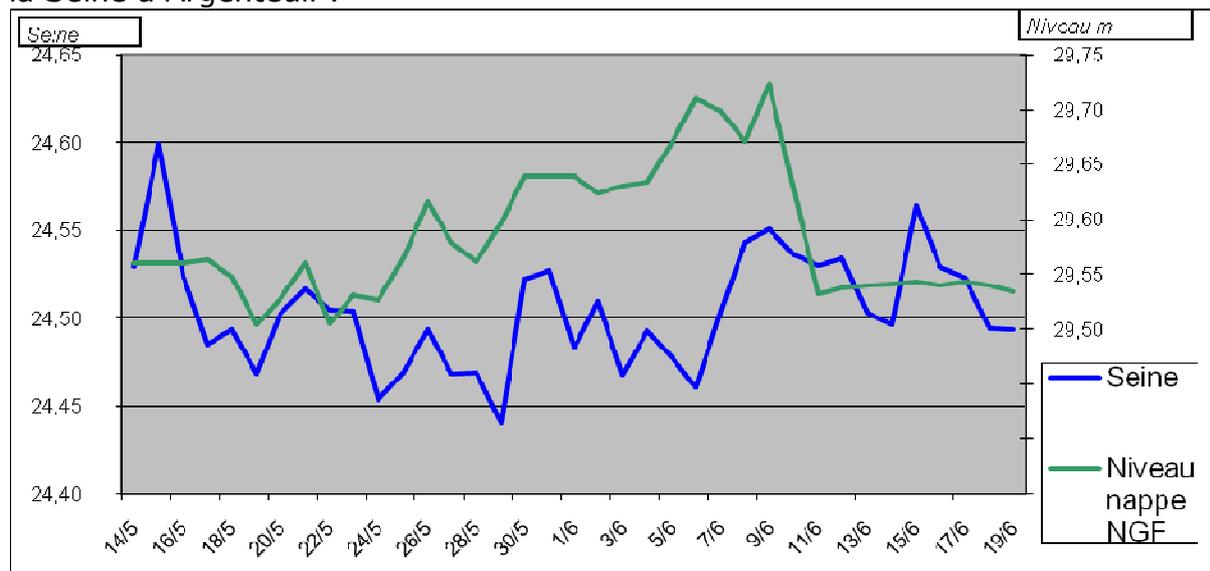


Figure 82 : Evolution du PZ2 en fonction du temps et du niveau de la Seine

Ce graphique met en évidence les relations entre le PZ2 et la Seine, les évolutions de variation sont semblables. Le seul phénomène qui peut être

compliqué à expliquer est la variation de niveau aux abords du 10 juin. Ceci peut s'expliquer de 2 manières : soit par une erreur de mesure de l'opérateur qui a recalé les mesures le 10 juin, soit par une interaction entre la nappe du PZ1 et PZ2 car lorsque le PZ 1 voit une augmentation de 2,2 m, PZ 2 voit une diminution de 18 cm. La première proposition semble plus plausible.

Le niveau du PZ 2 suit le niveau de la Seine même si les niveaux paraissent lissés. Seul l'événement pluvial du 8 juin permet une démarcation des courbes. Ceci amène à poser quelques questions : pourquoi le niveau qui semble varier anormalement à partir du 11/06, n'est pas répercuté sur le niveau de la nappe ? Ceci peut être interprété par une erreur d'enregistrement ou par une réalimentation de la nappe alluviale ou de nappes plus profondes.

Le graphique suivant ne permet pas d'évaluer l'évolution des niveaux de la nappe en fonction du pluviomètre. Il ne peut pas être fait d'interprétation compte tenu des comportements différents du niveau de la nappe en temps de pluie.

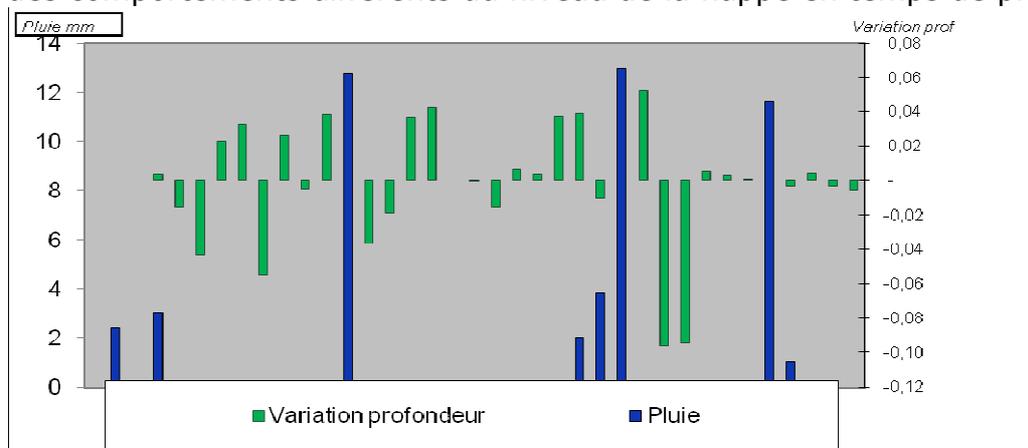


Figure 83 : Evolution relative du PZ2 en fonction du temps et de la pluie

Chaque épisode pluvieux entraîne un comportement différent de la nappe.

### ➤ Piézomètre 3

Voici le graphique de superposition du niveau du piézomètre 3 en fonction des pluies rencontrées sur Argenteuil lors des investigations de terrain :

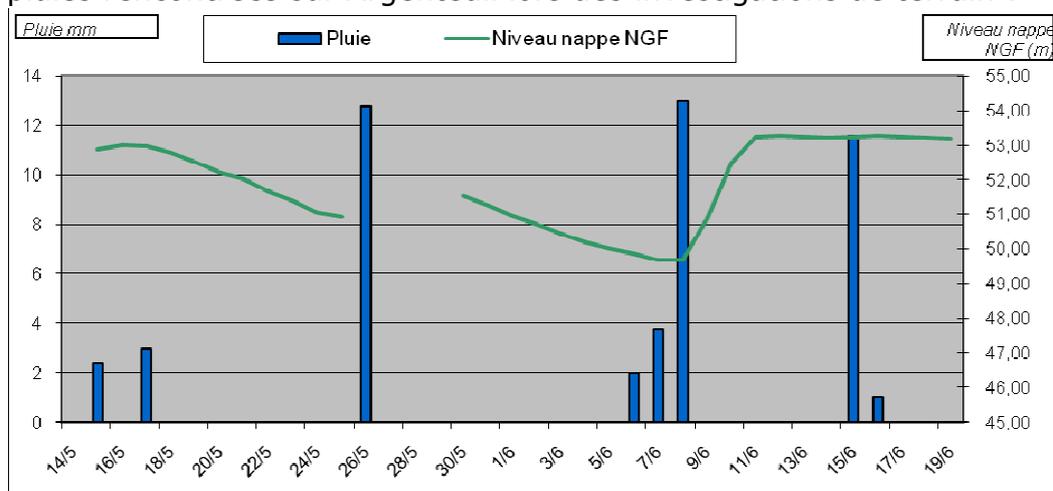


Figure 84 : Evolution du PZ3 en fonction du temps et de la pluie

<b>MOYENNE</b>	<b>51,84</b>
<b>MAXIMUM</b>	<b>53,28</b>
<b>MINIMUM</b>	<b>49,7</b>

Ce graphique permet d'avoir plusieurs orientations :

- Le 15 mai, 3m<sup>3</sup> ont été injecté sur un site aux abords du PZ3, ceci pourrait expliquer la stagnation du niveau de la nappe au début de l'enregistrement.
- La diminution du niveau de la nappe de 3,4 m à travers le temps sans interaction du niveau en fonction de la pluviométrie, privilégie l'interprétation d'un axe de drainage permettant une évacuation de l'aquifère.
- La forte pluie du 12/05 (cf. tableau 10) peut expliquer le niveau haut, au commencement des mesures.
- Les variations de niveaux sont plus rapides tant en rechargement qu'en déchargement. La nappe peut se décharger de 2 m en 5 jours et se recharger de 3,5 m en 4 jours. Au niveau quantitatif, cette nappe peut être considérée comme réactive aux précipitations. Ceci peut s'expliquer par le possible passage préférentiel de l'eau
- La pluie du 15/06 n'a pas entraîné de variation de nappe. Ceci amène à poser quelques questions : est-ce que la nappe a atteint son niveau maximum ? En cas de trop forte pluie le terrain de sature et favorise une infiltration horizontale (type axe de drainage) ? Quels sont les liens qu'il peut y avoir entre les autres nappes ? Les écoulements souterrains peuvent-ils être facilement identifiables et maîtrisables pour éviter tout désordre ? A quels volumes faut-il s'attendre en fonction de la pluie ?

Pour cause de problème technique, les enregistrements n'ont pas pu être réalisés du 19/06 au 28/08.

Voici le graphique de superposition du niveau du piézomètre 3 en fonction du niveau de la Seine à Argenteuil lors des investigations de terrain :

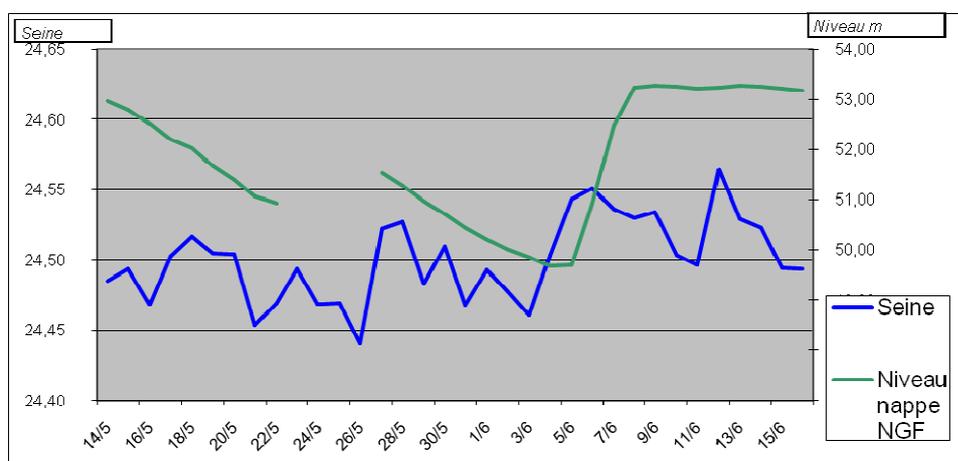


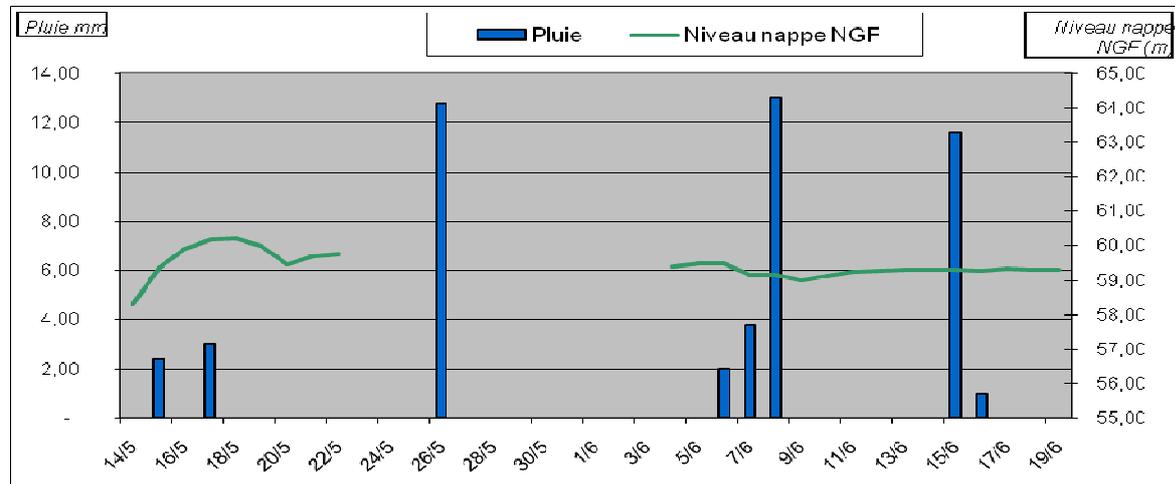
Figure 85 : Evolution du PZ3 en fonction du temps et du niveau de la Seine



par le sondeur ? ...). Les limites des mesures piézométriques sont de l'ordre de 10 m, au-delà, le matériel ne garantit plus sa fiabilité à 100 % ; or, là, le piézomètre est dans la gamme de tolérance.

### ➤ Piézomètre 5

Voici le graphique de superposition du niveau du piézomètre 5 avec les pluies rencontrées sur Argenteuil :



**MOYENNE**                    **58,76**  
**MAXIMUM**                 **60,2**  
**MINIMUM**                 **58,3**

Figure 87 : Evolution du PZ5 en fonction du temps et de la pluie

Il est difficile d'interpréter les mesures obtenues compte tenu des non enregistrements du 23/05 au 05/06.

Il n'y a pas d'explication du pic de niveau observé vers le 18 mai 2009. C'est peut-être une conséquence de 3 000 l d'eau versés, le 15 mai, sur la zone d'infiltration à 50 m en amont du piézomètre. Cette interprétation peut être recevable mais ceci considérerait un temps de migration relativement long. A la fin de l'investigation le terrain était saturé en eau et donc ceci signifierai que le terrain se dégorgerai des 3 m<sup>3</sup> en plusieurs jours.

Il y a une probabilité que ce soient des erreurs de mesures, ou que des facteurs extérieurs inconnus entrent en compte.

A partir du moment où les mesures reprennent vers le 5 juin, il est clair que la pluviométrie n'a pas d'incidence évidente sur le niveau de la nappe. Il n'y a pas d'axe de drainage, en apparence, entrainant un apport d'eau à la nappe présente.

Le graphique suivant ne permet pas d'évaluer l'évolution des niveaux de la nappe en fonction du pluviomètre. Il ne peut pas être fait d'interprétation compte tenu des comportements différents du niveau de la nappe en temps de pluie.

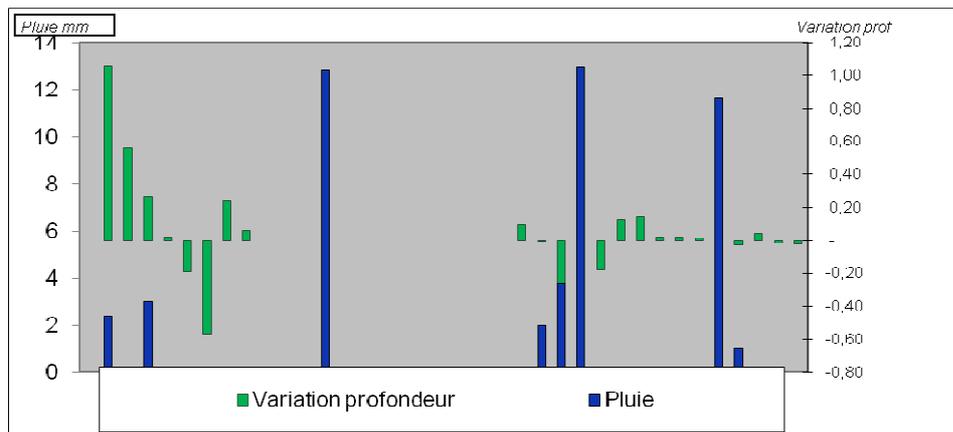


Figure 88 : Evolution relative du PZ5 en fonction du temps et de la pluie

Chaque épisode pluvieux entraîne un comportement différent de la nappe.

### ➤ Piézomètre 6

Il n'a pas été constaté de variation de niveau d'eau sur une période du 14 mai au 19 juin 2009.

Donc, il n'y a pas de passage préférentiel des eaux de pluie dans le sol aux abords du piézomètre 6. Néanmoins, des questions restent en suspend car lors des sondages il a été constaté un niveau de nappe à 7,5 m.

Ceci amène, soit à remettre en question les mesures sur un mois, soit à relativiser le niveau constaté (est-ce une poche d'eau, une erreur d'interprétation par le sondeur ?...). Les limites des mesures piézométriques sont de l'ordre de 10m, au-delà, le matériel ne garantit plus sa fiabilité à 100 % ; or là, le piézomètre est dans la gamme de tolérance.

### ➤ Piézomètre 7

Voici le graphique de superposition du niveau du piézomètre 7 en fonction des pluies rencontrées sur Argenteuil, lors des investigations de terrain :

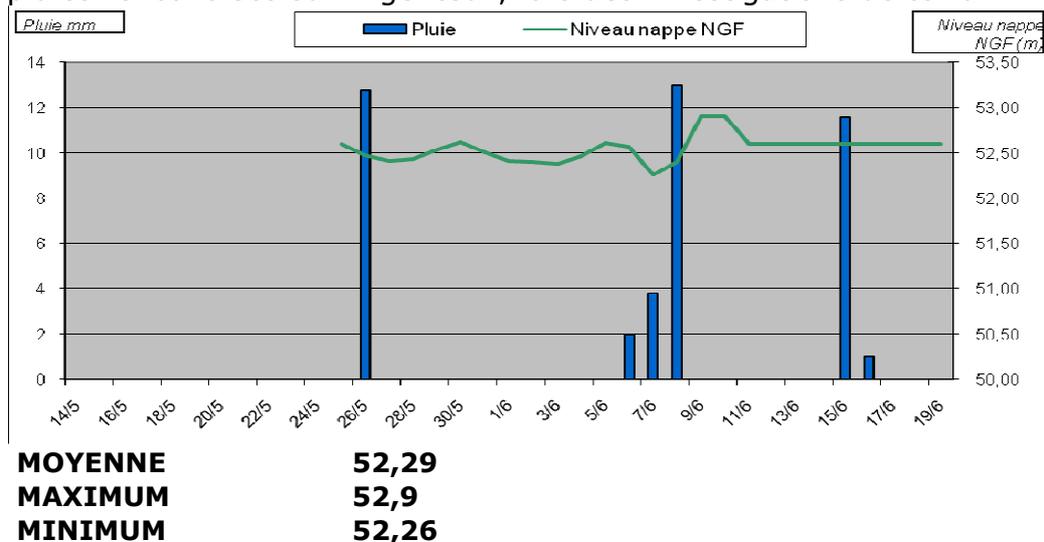


Figure 89 : Evolution du PZ7 en fonction du temps et de la pluie

Il est difficile d'interpréter l'intégralité des mesures obtenues et leurs variations compte tenu des non enregistrements du 14/05 au 25/05.

Le graphique suivant ne permet pas d'évaluer l'évolution des niveaux de la nappe en fonction du pluviomètre. Il ne peut pas être fait d'interprétation compte tenu des comportements différents du niveau de la nappe en temps de pluie.

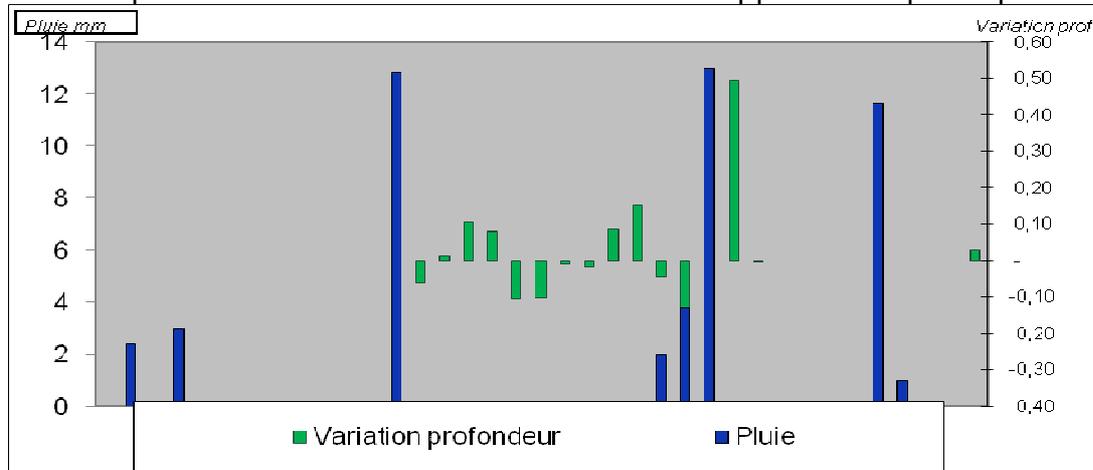


Figure 90 : Evolution relative du PZ7 en fonction du temps et de la pluie

Chaque épisode pluvieux entraîne un comportement différent de la nappe.

# **- Annexe 10 - Analyse de la réactivité des PZ en fonction de la pluie**

Cette annexe contient 3 pages

## Annexe 10 : Analyse de la réactivité des PZ

### → Réactivité nappe

Il a été croisé les données issues de la pluviométrie par rapport aux niveaux piézométriques, afin de définir la vulnérabilité des nappes par rapport aux épisodes pluvieux significatifs. Les niveaux des nappes, sur les graphiques suivants, sont des niveaux relatifs. Ainsi, les zooms ont été réalisés sur les pluies les plus exploitables par piézomètre :

#### ➤ Piézomètre 1

\* PZ1 pluie du 8 juin sur 24h

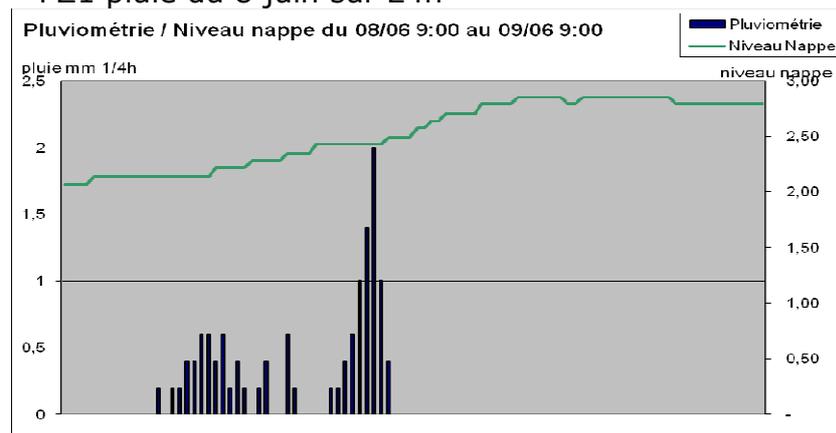


Figure 91 : Evolution du PZ1 en fonction du temps et de la pluie

Le « niveau » de la nappe évolue assez rapidement (à partir d'une heure et demie) suite à une pluviométrie modérée.

#### ➤ Piézomètre 2

\* PZ2 pluie du 25 mai sur 24h

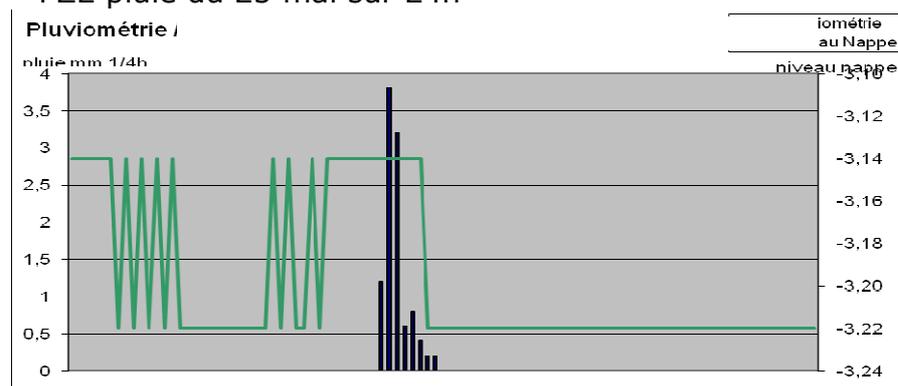


Figure 92 : Evolution du PZ2 en fonction du temps et de la pluie

Le niveau de la nappe est indépendant de la pluviométrie immédiate. Ceci est interprété par un défaut d'enregistrement évident.

#### ➤ Piézomètre 3

\* PZ3 pluie du 8 juin

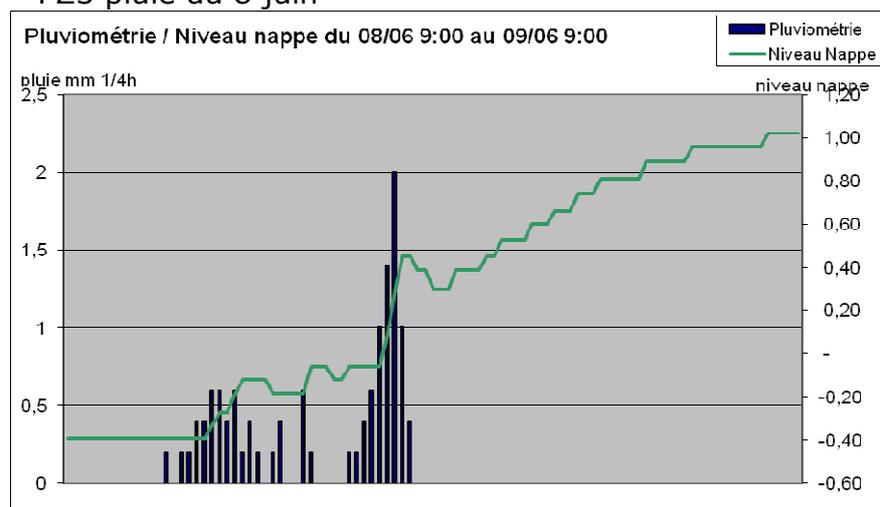


Figure 93 : Evolution du PZ3 en fonction du temps et de la pluie

Les niveaux des nappes évoluent assez rapidement (en 1h et demi) suite à une pluviométrie modérée. Puis, le niveau piézométrique continue d'évoluer ; ceci est peut-être une conséquence de l'importance du bassin d'apport. Le temps de réaction est proportionnel à la pluie et au bassin d'alimentation. Le temps de concentration peut être considéré de 12 h.

➤ **Piézomètre 4**

\* PZ4 : sans objet

➤ **Piézomètre 5**

\* PZ5 pluies du 13 au 17 mai

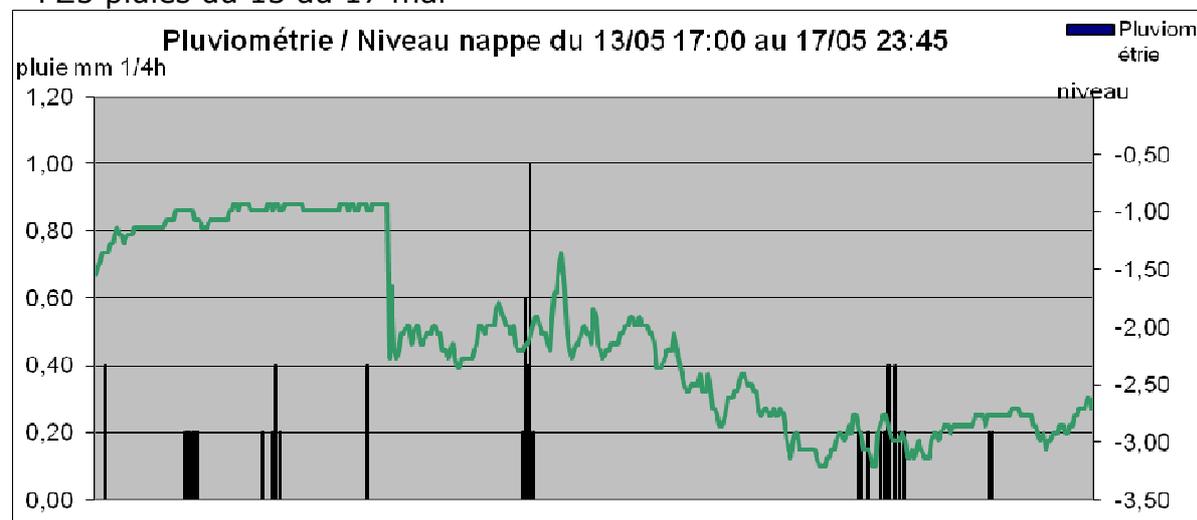


Figure 94 : Evolution du PZ5 en fonction du temps et de la pluie

Le niveau de la nappe augmente progressivement en fonction de la pluviométrie du 13 au 14 mai. Une intervention a été faite en date du 14 mai pour caler les mesures, ce qui explique la chute brutale. Puis le niveau de nappe stagne jusqu'à

la pluie du 15 mai où il est constaté une remontée de 0,8 m. Le niveau de la nappe diminue de 1,85m en l'absence de pluie jusqu'au 16 mai. Pour finir sur cette période d'analyse, les 3 mm de pluie du 16 mai n'a pas d'incidence sur l'évolution du niveau. Le niveau de la nappe est indépendant de la pluviométrie immédiate. Il ne peut pas être fait de corrélation.

➤ **Piézomètre 6**

\* PZ6 : sans objet

➤ **Piézomètre 7**

\* PZ7 pluie du 25 mai

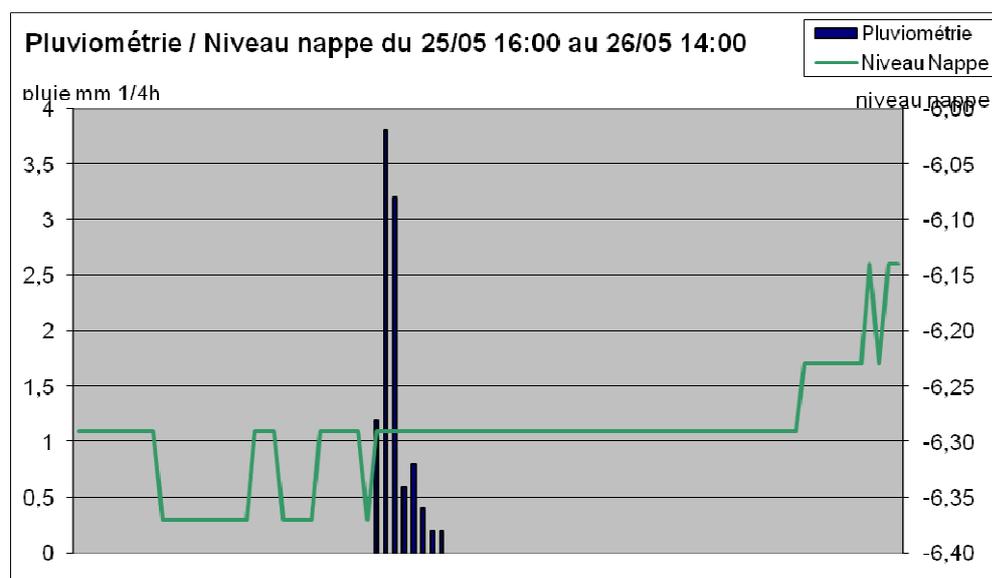


Figure 95 : Evolution du PZ7 en fonction du temps et de la pluie

Le niveau de la nappe comme indépendante de la pluviométrie sur le zoom considéré en première étape qui peut être interprété par une réalimentation d'une nappe plus profonde ; puis la nappe analysée se montre sensible aux précipitations, au bout de 8 h.

# **- Annexe 11 - Essais Lefranc**

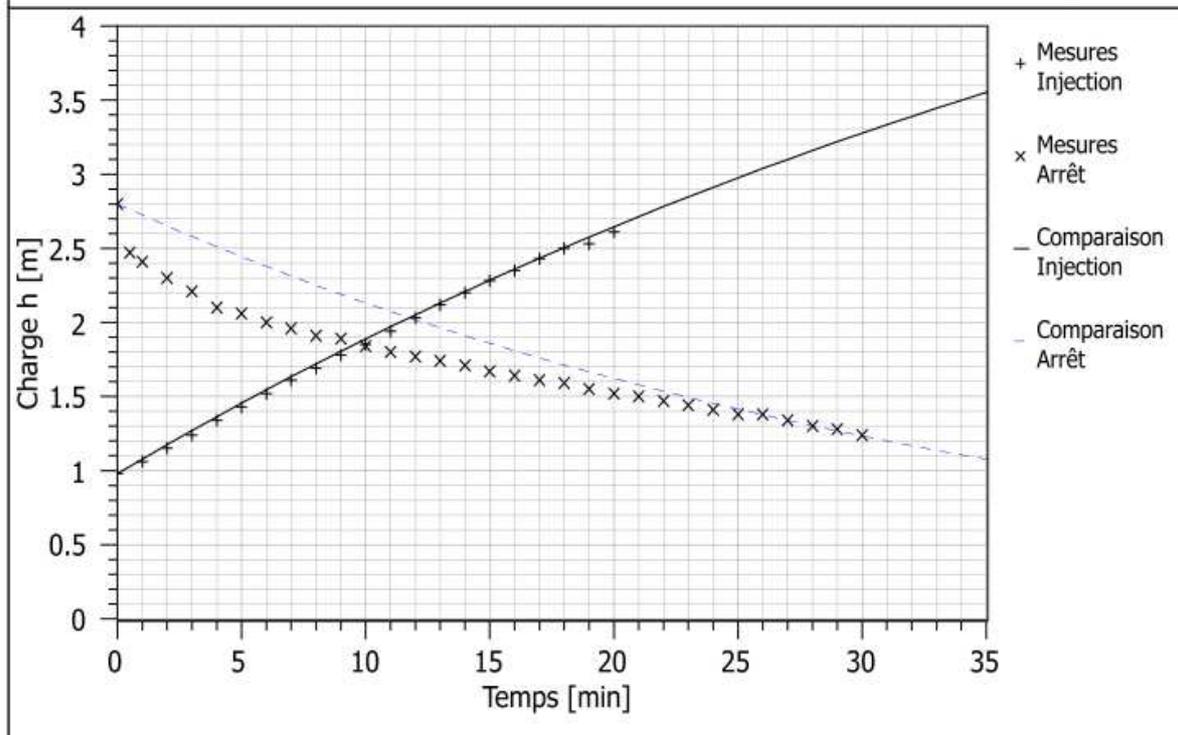
Cette annexe contient 7 pages

# Annexe 11 : Essais Lefranc

## PZ 1

	PROCES-VERBAL D'ESSAI  <b>ESSAI D'EAU LEFRANC</b>  Conforme NF P 94-132
---	---

N° dossier	IP.090101.REP	Date essai	20/08/2009
Sondage N°	PZ1	Nom opérateur	GROMAT
Lieu	Argenteuil site n°1	Profondeur de la cavité d'essai (m/TN)	4.00
Affaire	Agence de l'eau	- mi-hauteur de la poche d'essai-	
Mode opératoire	Injection	Débit (m <sup>3</sup> /s)	2.1E-05
		(l/mn)	1.26
Niveau piézométrique au repos (m/TN)	1.80	Elancement de la cavité c= L/B	9.7
Diamètre interne du tubage Bi (m)	0.117	Profondeur de la base de l'aquifère (m/TN)	4
Hauteur de la poche d'essai L (m)	1.00	Distance de la cavité - mi-hauteur de la poche d'essai- à la base de l'aquifère H(m)	0.00
Diamètre de la poche d'essai Be (m)	0.103	Facteur de forme m0	20.55
		Facteur de forme m	19.79

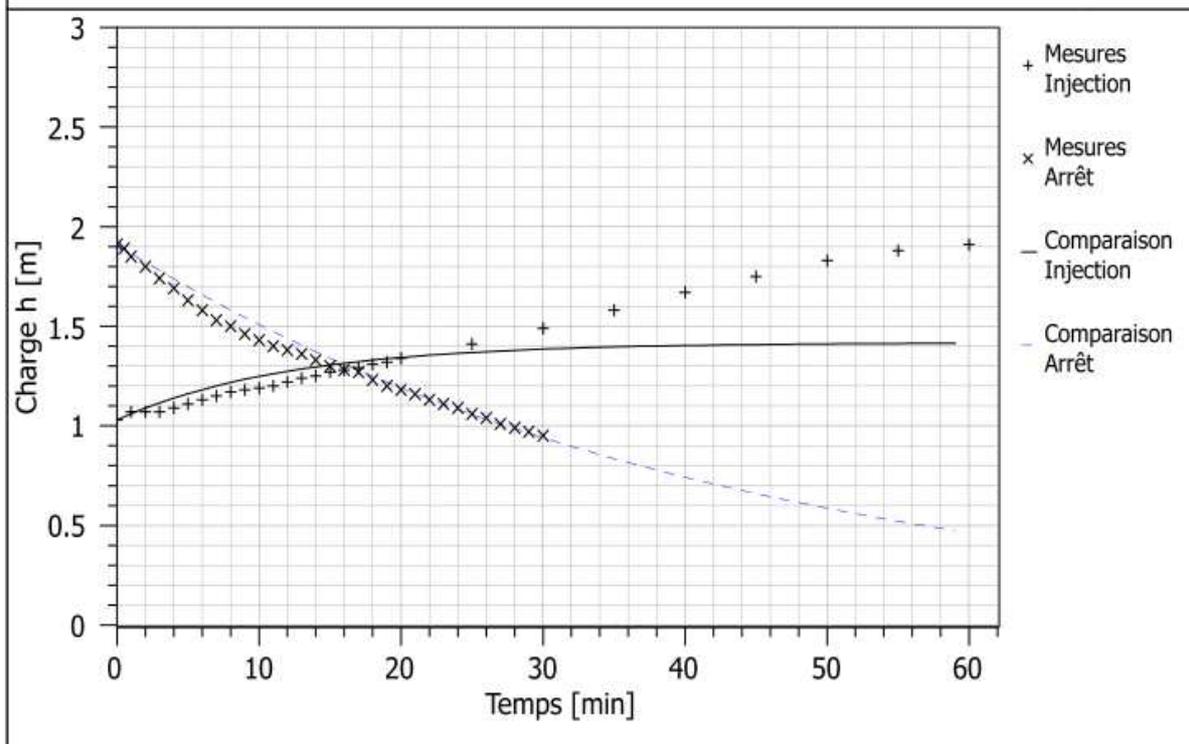


Observations	Coefficient de perméabilité K (m/s)	
	Montée	Descente
Comparaison à la solution d'équation différentielle	1.60E-06	2.40E-06
Vérifié par	GARIDEL <small>Essai Eau, 2.0/Mesures Argenteuil.eau</small>	

# PZ 2

	PROCES-VERBAL D'ESSAI  <b>ESSAI D'EAU LEFRANC</b>  Conforme NF P 94-132
---	---

N° dossier	IP.090101.REP	Date essai	20/08/2009
Sondage N°	PZ2	Nom opérateur	GROMAT
Lieu	Argenteuil site n°2	Profondeur de la cavité d'essai (m/TN)	4.00
Affaire	Agence de l'eau	- mi-hauteur de la poche d'essai-	
Mode opératoire	Injection	Débit (m <sup>3</sup> /s)	2.1E-05
		(l/mn)	1.26
Niveau piézométrique au repos (m/TN)	3.00	Elancement de la cavité c= L/B	9.7
Diamètre interne du tubage Bi (m)	0.117	Profondeur de la base de l'aquifère (m/TN)	
Hauteur de la poche d'essai L (m)	1.00	Distance de la cavité - mi-hauteur de la poche d'essai- à la base de l'aquifère H(m)	
Diamètre de la poche d'essai Be (m)	0.103	Facteur de forme m0	20.55
		Facteur de forme m	20.55

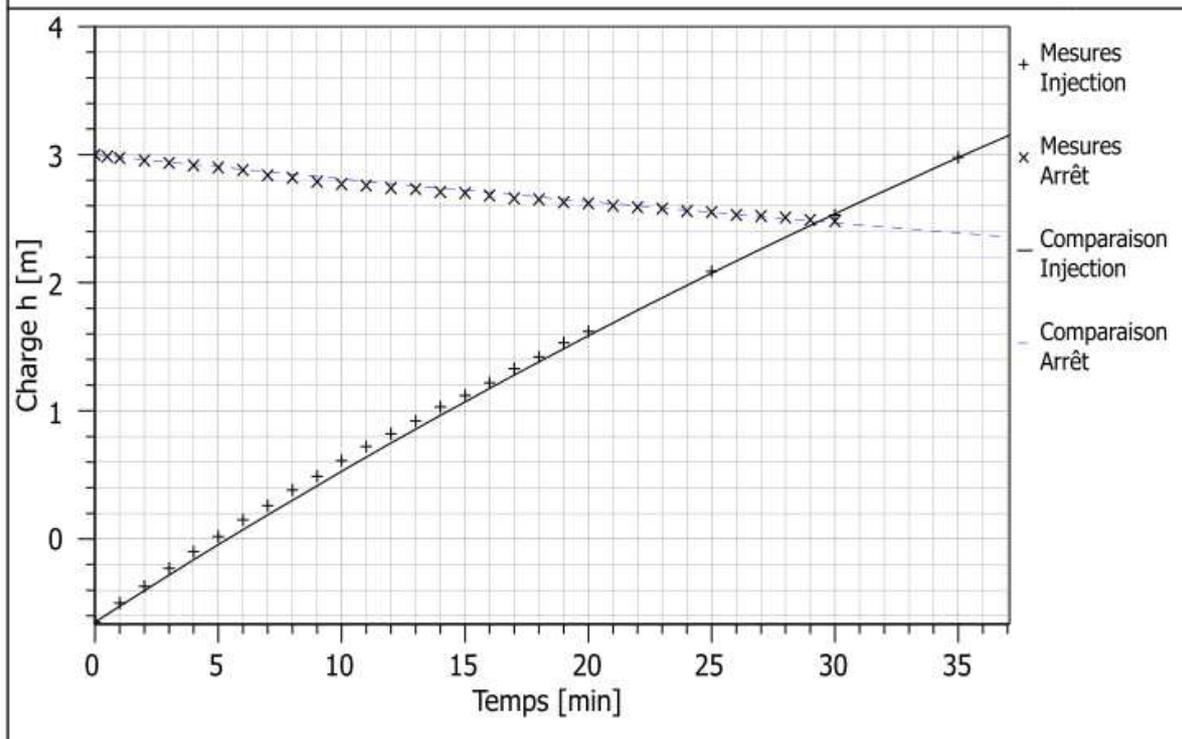


Observations	Coefficient de perméabilité K (m/s)	
	Montée	Descente
Comparaison à la solution d'équation différentielle	7.00E-06	2.00E-06
Vérifié par	GARIDEL	
	Essai Eau, 2.0/Mesures Argenteuil.eau	

# PZ 3

	PROCES-VERBAL D'ESSAI  <b>ESSAI D'EAU LEFRANC</b>  Conforme NF P 94-132
---	---

N° dossier	IP.090101.REP	Date essai	20/08/2009
Sondage N°	PZ3	Nom opérateur	GROMAT
Lieu	Argenteuil site n°3	Profondeur de la cavité d'essai (m/TN)	4.00
Affaire	Agence de l'eau	- mi-hauteur de la poche d'essai-	
Mode opératoire	Injection	Débit (m3/s)	2.1E-05
		(l/mn)	1.26
Niveau piézométrique au repos (m/TN)	2.00	Elancement de la cavité c= L/B	9.7
Diamètre interne du tubage Bi (m)	0.117	Profondeur de la base de l'aquifère (m/TN)	
Hauteur de la poche d'essai L (m)	1.00	Distance de la cavité - mi-hauteur de la poche d'essai- à la base de l'aquifère H(m)	
Diamètre de la poche d'essai Be (m)	0.103	Facteur de forme m0	20.55
		Facteur de forme m	20.55



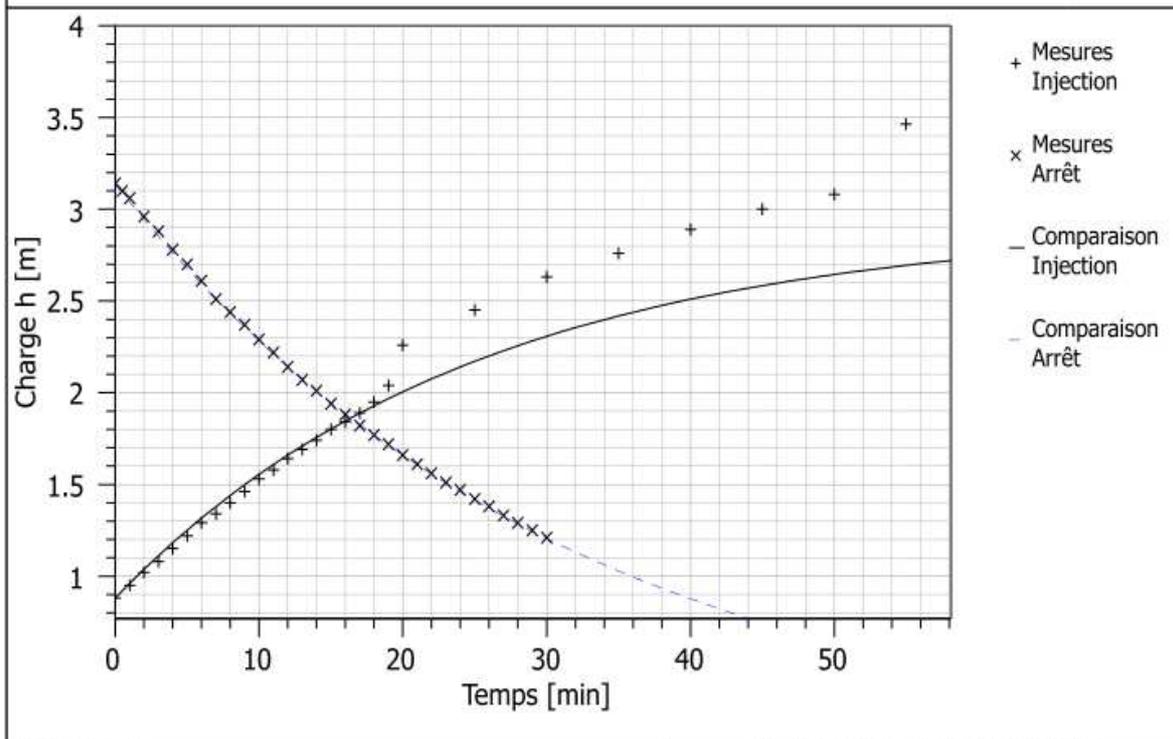
Observations	Coefficient de perméabilité K (m/s)	
	Montée	Descente
Comparaison à la solution d'équation différentielle	9.00E-07	5.50E-07
Vérfié par	GARIDEL	

Essai Eau, 2.0/Mesures Argenteuil.eau

# PZ 4

	PROCES-VERBAL D'ESSAI  <b>ESSAI D'EAU LEFRANC</b>  Conforme NF P 94-132
---	---

N° dossier	IP.090101.REP	Date essai	20/08/2009
Sondage N°	PZ4	Nom opérateur	GROMAT
Lieu	Argenteuil site n°4	Profondeur de la cavité d'essai (m/TN)	4.00
Affaire	Agence de l'eau	- mi-hauteur de la poche d'essai-	
Mode opératoire	Injection	Débit (m3/s)	2.1E-05
		(l/mn)	1.26
Niveau piézométrique au repos (m/TN)	2.50	Elancement de la cavité c= L/B	9.7
Diamètre interne du tubage Bi (m)	0.117	Profondeur de la base de l'aquifère (m/TN)	
Hauteur de la poche d'essai L (m)	1.00	Distance de la cavité - mi-hauteur de la poche d'essai- à la base de l'aquifère H(m)	
Diamètre de la poche d'essai Be (m)	0.103	Facteur de forme m0	20.55
		Facteur de forme m	20.55



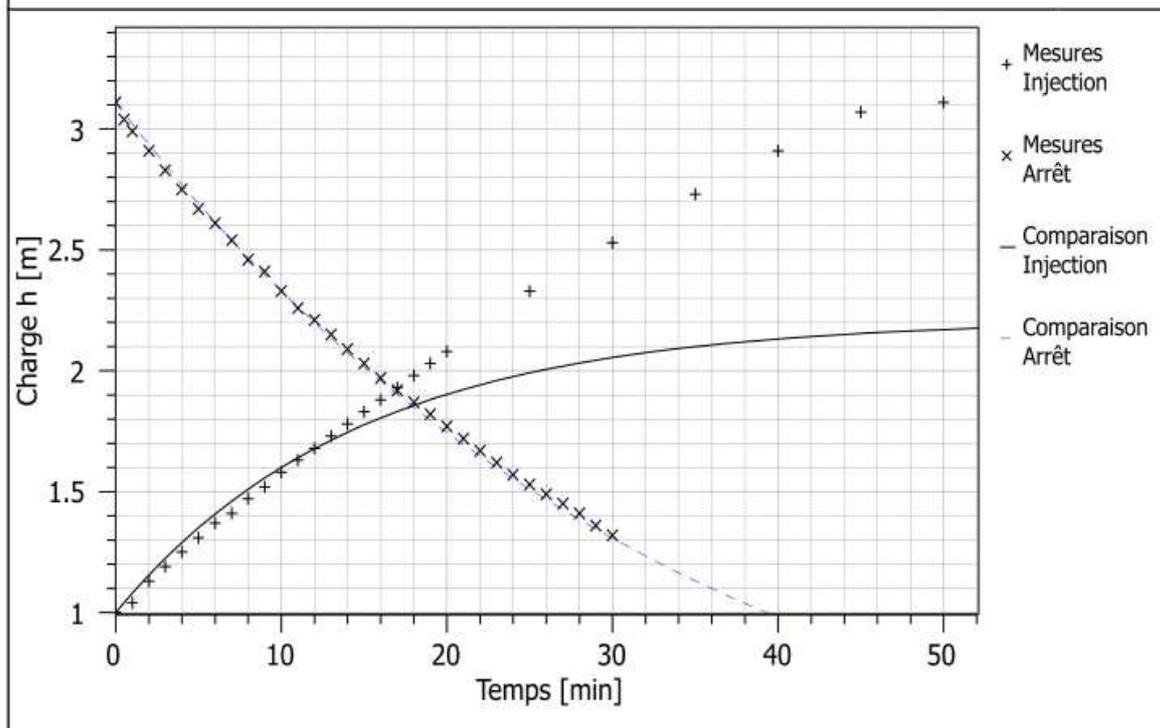
Observations	Coefficient de perméabilité K (m/s)	
	Montée	Descente
Comparaison à la solution d'équation différentielle	3.40E-06	2.70E-06
Vérfié par	GARIDEL	

Essai Eau, 2.0/Mesures Argenteuil.eau

# PZ 5

	PROCES-VERBAL D'ESSAI  <b>ESSAI D'EAU LEFRANC</b>  Conforme NF P 94-132
---	---

N° dossier	IP.090101.REP	Date essai	20/08/2009
Sondage N°	PZ5	Nom opérateur	GROMAT
Lieu	Argenteuil site n°5	Profondeur de la cavité d'essai (m/TN)	4.00
Affaire	Agence de l'eau	- mi-hauteur de la poche d'essai-	
Mode opératoire	Injection	Débit (m <sup>3</sup> /s)	2.1E-05
		(l/mn)	1.26
Niveau piézométrique au repos (m/TN)	2.13	Elancement de la cavité c= L/B	8.5
Diamètre interne du tubage Bi (m)	0.103	Profondeur de la base de l'aquifère (m/TN)	6.13
Hauteur de la poche d'essai L (m)	1.00	Distance de la cavité - mi-hauteur de la poche d'essai- à la base de l'aquifère H(m)	2.13
Diamètre de la poche d'essai Be (m)	0.117	Facteur de forme m0	18.90
		Facteur de forme m	18.05



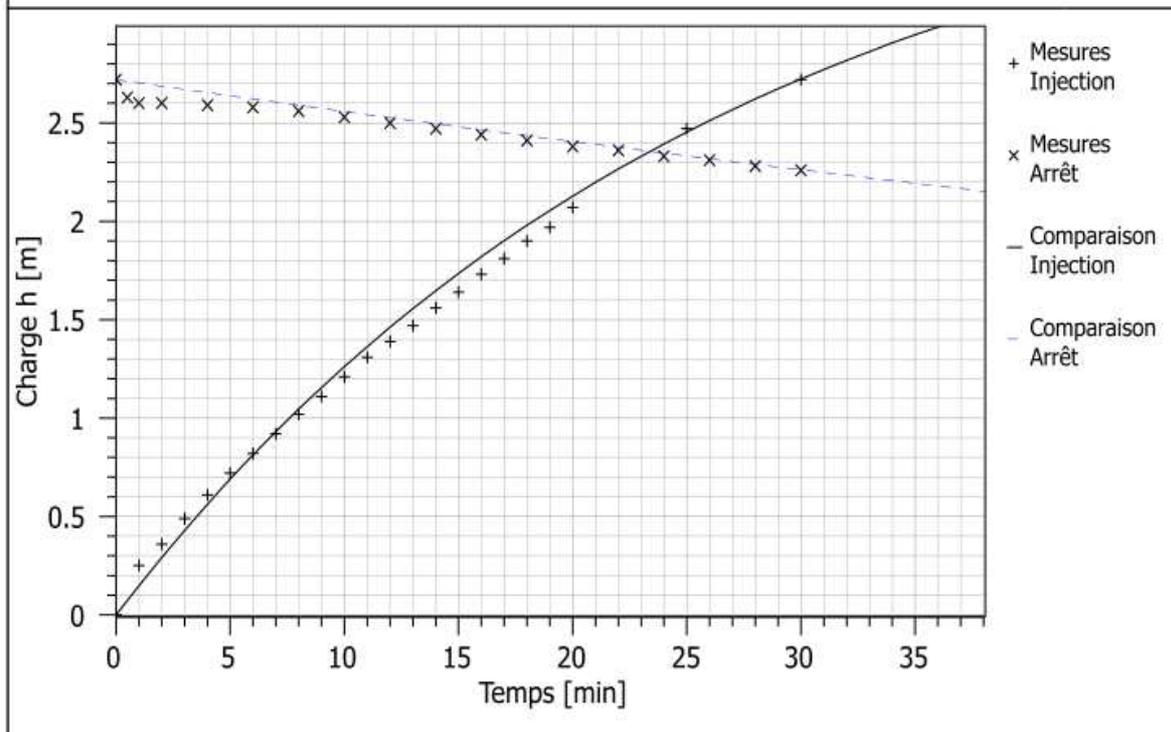
Observations	Coefficient de perméabilité K (m/s)	
	Montée	Descente
Comparaison à la solution d'équation différentielle	4.50E-06	1.90E-06
Vérifié par	GARIDEL	

Essai Eau, 2.0/Mesures Argenteuil.eau

# PZ 6

	PROCES-VERBAL D'ESSAI  <b>ESSAI D'EAU LEFRANC</b>  Conforme NF P 94-132
---	---

N° dossier	IP.090101.REP	Date essai	24/08/2009
Sondage N°	PZ6	Nom opérateur	GROMAT
Lieu	Argenteuil site n°6	Profondeur de la cavité d'essai (m/TN)	4.00
Affaire	Agence de l'eau	- mi-hauteur de la poche d'essai-	
Mode opératoire	Injection	Débit (m3/s)	2.1E-05
		(l/mn)	1.26
Niveau piézométrique au repos (m/TN)	2.57	Elancement de la cavité c= L/B	8.5
Diamètre interne du tubage Bi (m)	0.103	Profondeur de la base de l'aquifère (m/TN)	7.5
Hauteur de la poche d'essai L (m)	1.00	Distance de la cavité - mi-hauteur de la poche d'essai- à la base de l'aquifère H(m)	3.50
Diamètre de la poche d'essai Be (m)	0.117	Facteur de forme m0	18.90
		Facteur de forme m	17.80

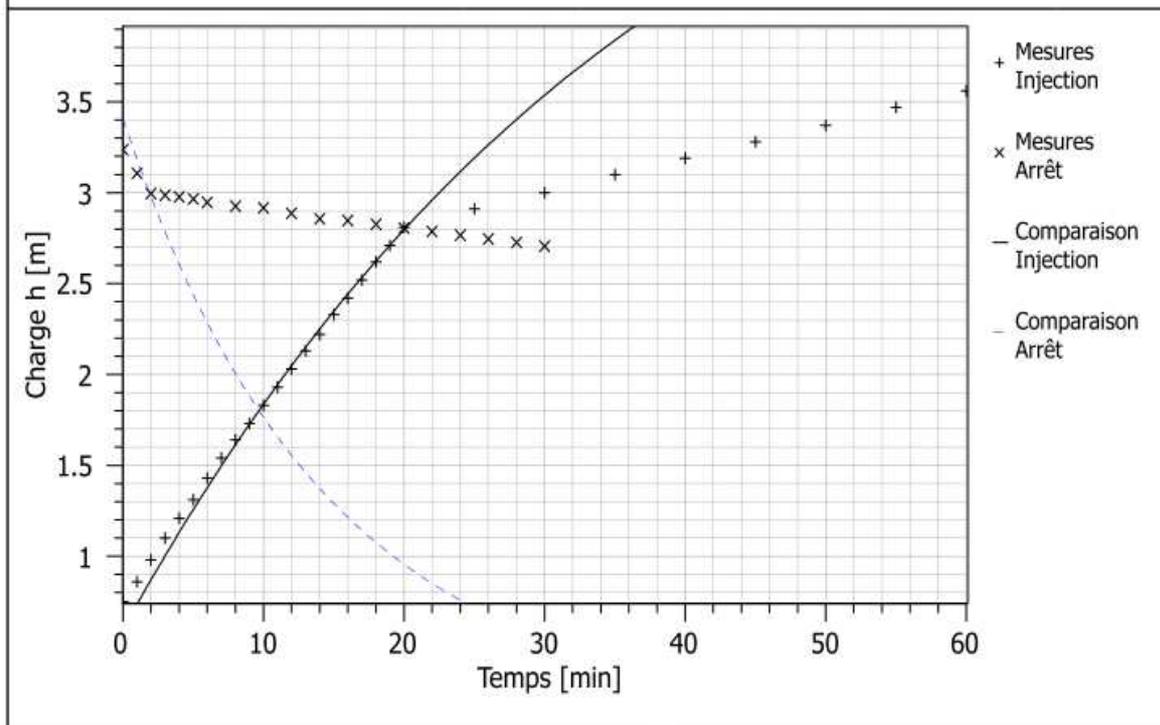


Observations	Coefficient de perméabilité K (m/s)	
	Montée	Descente
Comparaison à la solution d'équation différentielle	2.50E-06	4.10E-07
Vérfié par	GARIDEL	
	Essai Eau, 2.0/Mesures Argenteuil.eau	

# PZ 7

	PROCES-VERBAL D'ESSAI  <b>ESSAI D'EAU LEFRANC-NASBERG</b> Interprétation essai NASBERG mode opératoire NF P 94-132
---	--

N° dossier	IP.090101.REP	Date essai	24/08/2009
Sondage N°	PZ7	Nom opérateur	GROMAT
Lieu	Argenteuil site n°7	Profondeur de la cavité d'essai (m/TN)	4.00
Affaire	Agence de l'eau	- mi-hauteur de la poche d'essai-	
Mode opératoire	Injection	Débit (m3/s)	2.1E-05
		(l/mn)	1.26
Niveau piézométrique au repos (m/TN)	4.90	Elancement de la cavité c= L/B	8.5
Diamètre interne du tubage Bi (m)	0.103	Diamètre de la poche d'essai Be (m)	0.117
Hauteur de la poche d'essai L (m)	1.00		



Observations	Coefficient de perméabilité K (m/s)	
	Montée	Descente
Comparaison à la solution d'équation différentielle	1.80E-06	5.00E-06
Vérifié par	GARIDEL	

Essai Eau, 2.0/Mesures Argenteuil.eau

# **- Annexe 12 - Infiltration en milieu urbain : Aménagements, entretien**

Réflexions issues du guide technique : recommandations pour la faisabilité, la conception et la gestion des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales en milieu urbain par Sylvie Barraud et Yves Perrodin et al. Cette annexe contient 7 pages

## Acceptation de l'eau en ville

Les solutions alternatives aux réseaux eaux pluviales doivent être adaptées à chaque contexte selon les spécificités naturelles et urbanistiques. Cependant, plusieurs recommandations peuvent être mises en lumière :

- **Les aménagements liés à l'infiltration doivent être bien pensés en amont.** En effet, après réalisation, les investigations ne sont plus visibles et paraissent naturelles. De ce fait, il est d'autant plus important de lancer les investigations terrain pour cibler les risques et enjeux.
- **Le périmètre d'intervention doit rester modeste et maîtrisable.** Afin de ne pas rendre irréalisable tout aménagement, il est nécessaire de se pencher sur le phénomène d'échelle (parcelle ou sous-bassin versant).
- **Les impacts sur l'infiltration d'un projet d'urbanisation doivent être étudiés dès le lancement du projet, pendant la réalisation et la maintenance de l'infrastructure.** Lorsque les conséquences de l'infiltration sont découvertes, les sommes financières en jeu sont importantes. De ce fait, la maîtrise de l'infiltration doit être un élément à garder comme objectif du début du projet à sa fin.
- **Rendre systématique à tout projet d'urbanisme un diagnostic géotechnique et en assurer le respect des recommandations.** En géotechnique, il faut faire évoluer les mentalités et mettre en place des outils pour pouvoir sensibiliser les acteurs locaux en s'appuyant sur des textes réglementaires, via les documents d'urbanisme (ex : carte d'infiltration des eaux).
- **Assurer une étude complète et consciencieuse.** Il est nécessaire de prendre en compte tous les aspects (bénéfiques ou néfastes) liés à ce mécanisme qui risque d'être mal ciblé si on rentre dans un système de simplification. Ceci entraînerait une vulgarisation des données et engendrerait de grandes sources d'erreurs avec un effet pervers. Il faut donc mesurer l'état des connaissances, le risque et le savoir-faire.
- **Projeter les réflexions sur le long terme.** Il est de rigueur d'avoir une réflexion axée sur des données spatio-temporelles, à moyen et long termes, et non une vision ponctuelle. Il est toutefois judicieux, à court terme, de saisir les opportunités compte tenu de la situation actuelle où la gestion des EP reste une contrainte pour les aménageurs.
- **Assurer une concertation large des parties prenantes.** Il est indispensable de mettre autour de la table tous les acteurs liés au cycle de vie des techniques alternatives pour faire vivre au mieux les aménagements. De ce fait, il faut prendre en compte les différents contextes : activité, matériaux utilisés, occupation du sol dans variabilité inter-événementielle.
- **Simplifier et rendre pragmatiques les études géotechniques.** Pour apporter des contradictions, il est nécessaire de faire la part des choses et de ne pas se lancer dans un contexte « du tout étude ». Il serait judicieux de faire une étude par site, la plus simplifiée et adaptée possible car les multiples

études en amont liées à l'infiltration font peur aux acteurs locaux. De ce fait, pour pouvoir avancer, il est important d'avoir une vision pragmatique de terrain avec une étude succincte du site (mode opératoire à définir). Car si nous complexifions le système avec le principe de précaution, aucun aménagement ne se fera dans le sens de l'infiltration qui a toujours été un phénomène naturel observé avant toute imperméabilisation des sols.

En ville, personne ne souhaite que les eaux pluviales représentent une contrainte au quotidien. La stratégie alors communément adoptée par les collectivités consiste à les évacuer le plus rapidement possible. Aujourd'hui, la question de la gestion des eaux pluviales doit être abordée différemment. Il faut refaire accepter l'eau en ville, non seulement par les élus (décideurs des orientations de la politique de la ville) mais aussi par les riverains (usagers quotidiens de la ville). Il est nécessaire que l'opinion publique accepte l'eau dans son environnement et les désagréments qui lui sont implicitement liés (exemple : boues).

D'un point de vue concret, il faut être conscient de la non étanchéité des infrastructures ; de ce fait, même une installation supposée étanche laisse passer de l'eau en profondeur. Ainsi, qu'elle soit voulue ou non, l'infiltration en milieu urbain s'effectue, même s'il est difficile d'estimer les volumes exacts. La figure 68 met en exergue des volumes d'eau retenus par les irrégularités de la voirie.



**Figure 96 : Exemple de rétention d'eau sur la voirie en fonction des aspérités / irrégularités**

Il ne paraît pas aberrant qu'un terrain de jeu pour enfants (figure 69) soit réalisé en terre, au risque d'être inondé en temps de pluie afin de gérer les eaux à la parcelle plutôt que d'orienter les eaux pluviales vers le réseau d'assainissement.



**Figure 97 : Terrain de jeux à Fontenay-sous-Bois**

Il peut être fait des aménagements simples, soit à travers la gestion des eaux à la source, soit en limitant le ruissellement et en réorientant les eaux de pluie vers des espaces adaptés. Ainsi, les eaux pluviales de la terrasse (figure 70) peuvent être réorientées vers les massifs de plantes (avec des réservoirs pour ne pas noyer les végétaux).



Figure 98 : aménagement de terrasses à Fontenay-sous-Bois

## Aménagements de gestion des eaux pluviales

### Le ruissellement

La principale mission concernant la gestion des eaux pluviales concerne la maîtrise du ruissellement (via les différentes pentes et les zones de collecte).

Il est également notable que les surfaces imperméabilisées s'accroissent actuellement plus rapidement en volume que la population : il y a une interaction entre les surfaces et les volumes.

Il faut, tout de même, adapter le discours et les aménagements à prévoir pour la gestion des EP, en fonction de paramètres multiples (espaces libres, surface active, ruissellement (topographie), ...).

Si des pluies, mêmes importantes, surviennent alors que la végétation est active, l'eau de réserve superficielle qui se reconstitue peut être redistribuée aux plantes qui se servent les premières. Pour illustrer ces propos, en figure 71, malgré le tandem violentes pluies / pente qui devrait faire mauvais ménage, en présence de végétation, le ruissellement peut être minimisé en fonction de la capacité du sol à absorber l'eau.



Figure 99 : Collecte des eaux pluviales en fonction de la topographie marquée du bassin versant

## **Les aspects à prendre en compte pour estimer la faisabilité des techniques d'infiltration**

Pour répondre à cette question, nous sommes repartis des critères discriminants élaborés (Azzout, 1994) pour les systèmes d'infiltration, et les avons complétés par des informations récentes liées aux recherches développées.

En phase de faisabilité, les données sont généralement qualitatives et doivent permettre de se poser un certain nombre de questions permettant d'adopter ou non le principe de l'infiltration des eaux de ruissellement. Si l'infiltration est retenue, il faudra orienter le choix de solutions possibles et identifier les contraintes et potentialités qu'il sera nécessaire de développer en phase de conception. Les aspects à examiner sont les suivants (issu du guide technique : recommandations pour la faisabilité, la conception et la gestion des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales en milieu urbain par Sylvie Barraud et Yves Perrodin et al) :

- **Disponibilité de l'espace**

Certaines solutions ont une emprise au sol importante (cas des bassins d'infiltration). Il importe donc que l'on prenne en compte la disponibilité foncière ou les contraintes de coût engendrées par la spécialisation de ces surfaces. Il est toujours intéressant de travailler avec des espaces pluri-fonctionnels (terrain de football, espaces verts et bassin de retenue par exemple).

- **Capacité d'absorption du sol**

La capacité d'absorption hydraulique (aussi appelée « capacité d'infiltration ») d'un sol est un paramètre clé de la faisabilité. Au stade de l'étude de faisabilité, nous pouvons nous contenter d'exploiter les archives (cartes, sondages et études antérieures), et d'apprécier la conductivité hydraulique du sol en fonction de sa nature.

- **Existence d'un exutoire permanent**

Si les capacités d'infiltration sur place sont insuffisantes, on peut examiner d'autres possibilités complémentaires pour évacuer les eaux transitant dans l'ouvrage, et coupler infiltration et rejet vers un autre exutoire. Il faut alors examiner si des exutoires complémentaires sont disponibles ou possibles : réseau d'assainissement, cours d'eau à proximité sur lesquels il est possible de se connecter.

- **Nature du sol propice à la présence d'eau**

En matière de stabilité, le risque de dissolution des sols est important dans les sols gypseux et interdit toute infiltration (problème de stabilité des futurs ouvrages pouvant aller jusqu'à l'effondrement). Le phénomène de retrait-gonflement peut entraîner, dans certains sols, des désordres mécaniques sur les structures environnantes.

- **Niveau des eaux souterraines**

Le niveau des plus hautes eaux de la nappe est un paramètre important pour plusieurs raisons. Une nappe peu profonde peut réduire les volumes de stockage, risque d'être très facilement contaminée par une pollution chronique ou

accidentelle (pas de dépollution par le sol), endommager les ouvrages étanchés par sous-pression qui pourraient être placés en amont.

- **Risque d'eaux chargées en fines**

Les eaux chargées en fines (terre végétale, résidus d'érosion...) sont les ennemies des surfaces d'infiltration et sont dommageables pour les ouvrages (colmatage) à moins que l'on ait prévu des dispositifs de décantation en amont, ce qui n'est pas toujours possible.

- **Passage de réseaux divers**

Un sous-sol encombré par des réseaux divers peut parfois rajouter une contrainte quant à la mise en place de certaines techniques d'infiltration. Cependant, si ce paramètre est pris en compte dès le début du projet, il ne constitue pas un facteur rédhibitoire.

- **Pente du site forte**

La pente d'un site conditionne les capacités de rétention des ouvrages d'infiltration. La pente moyenne générale d'une zone n'est pas déterminante. Il s'agit plutôt d'identifier les pentes des emplacements possibles des futurs ouvrages.

- **Risque vis-à-vis de la pollution**

Le risque de pollution des eaux et des sols dépend du croisement de trois évaluations : la qualité des eaux de ruissellement à évacuer, les performances potentielles des ouvrages et enfin la vulnérabilité du milieu récepteur (nappe ou sol). La pollution, chronique et accidentelle, peut être appréciée en fonction de la nature des surfaces drainées.

- **Bilan sur l'infiltration**

L'état de l'art et les recherches menées dans ce domaine sont encore lacunaires et les principales questions concernant l'évolution dans le temps des structures d'infiltration sont encore à affiner. Les principaux blocages scientifiques qui s'opposent à l'amélioration des performances et au développement des ouvrages d'infiltration comme système de drainage urbain doivent être levés. Ces principaux blocages scientifiques sont pour l'essentiel liés à une compréhension encore insuffisante des interactions entre les différents mécanismes physiques, chimiques et biologiques qui interviennent tout au long du processus d'infiltration, couplés aux problèmes d'échelles spatiales et temporelles importantes. L'étude de ces mécanismes et leurs interactions a été l'objet d'avancées significatives au cours des dernières années, notamment au sein de l'OTHU (Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine), et dans le cadre de programmes de recherche comme le programme « MGD infiltration ».

Sur la base des résultats obtenus et des séries de données récemment acquises, il paraît maintenant nécessaire de continuer à résoudre les points faibles des ouvrages d'infiltration actuels ; améliorer la gestion des sous-produits ; mieux évaluer des impacts environnementaux en faisant notamment des bilans de masses entre les entrants issus des bassins versants et les sortants (quantités atteignant la nappe) ; mettre au point des indicateurs de performance de ces

systèmes d'infiltration pour lesquels un travail de débroussaillage à déjà été mené (Perrodin et al, 2004).

L'ensemble des problèmes qui se posent aux divers stades de conception, d'études, de réalisation et d'exploitation de l'eau s'exprime dans le système : BESOIN ⇒ USAGE ⇒ REJET.

## • Préconisations

En cas de souhait des élus de développer des ouvrages collectifs d'infiltration des eaux pluviales de grande taille (drainant des bassins versants de plusieurs dizaines d'hectares), il est souhaitable :

- **d'éviter l'apport permanent d'eau par temps sec** qui favorise le développement de biofilm. De plus, avec ce fonctionnement, les risques de rejets illicites sont plus probables.
- **de mettre en œuvre un travail d'observation et de suivi** de sites de manière à disposer de chroniques plus longues et continues qui permettront de fournir de véritables historiques de l'évolution du colmatage dans différentes situations. Un contrôle permanent des facteurs de colmatage (suivi des apports en matières en suspension via la turbidité, des masses de polluants apportés au bassin conjointement aux mesures dans le sol, ...) est également nécessaire, et d'ores et déjà mis en place, notamment sur les sites de l'OTHU.

En règle générale, il vaudra toujours mieux pratiquer des stratégies de contrôle à la source plutôt que des stratégies « centralisatrices », c'est-à-dire pour des ouvrages recevant les eaux de ruissellement ayant lessivé des zones importantes acheminées par un réseau de conduites. Les stratégies de contrôle à la source évitent aux eaux de se charger en pollution et les rendent ainsi plus faciles à traiter.

Des études spécifiques pourraient être rendues obligatoires par les règles d'urbanisme de manière à imposer la prise en compte de l'infiltration en ville (ex : carte d'infiltration des eaux). Ces études ne doivent pas être complexes car le manque de maîtrise de tous les mécanismes (physique, chimique ou biologique) en jeu rend l'interprétation difficile.

## • Entretien

Il est aussi nécessaire de montrer que l'entretien des ouvrages d'infiltration peut être minimisé et son coût anticipé si :

- l'entretien est pensé dès la phase conception,
- la construction respecte les plans,
- les ouvrages sont protégés,
- les procédures d'entretien sont mises en place et respectées.

Le concept de l'entretien a deux enjeux principaux : pérenniser l'ouvrage et maîtriser les flux et la pollution.

# **- Annexe 13 - Dépenses liées à cette étude**

Cette annexe contient 1 page

## Annexe 13 : Dépenses liées à cette étude

Coût des dépenses liées à la prestation : Fondasol

### Bordereau des prix - Détail estimatif :

N°	Désignation	U	Quantité	Prix Unitaire	Montant HT
<b>A</b>	<b>INGENIERIE ET FRAIS DE BUREAU D'ETUDES</b>				
A.1	Prise en charge du dossier et rédaction d'un rapport de synthèse	FT	1	760.00	760.00
A.2	Vacation d'ingénieur pour toute assistance technique	DEMI JOUR		460.00	
A.5	Réalisation d'une D.I.C.T.	FT	1	240.00	240.00
A.6	Relevé périodique des niveaux piézométriques sur l'ensemble du site	U	6	145.00	870.00
	<b>SOUS TOTAL A</b>				1870.00
B.1	Amenée et repli du matériel de forage lourd, y compris déplacement du personnel	FT	1	650.00	650.00
<b>B.2</b>	<b>MISE EN PLACE SUR UN POINT DE SONDAGE</b>				
B.2.1	Mise en place facile	U	11	75.00	825.00
B.2.2	Plus value pour mise en place difficile ou déplacement de site à site	Heure	9	190.00	1710.00
B.2.3	Réalisation d'avant-trou manuel pour reconnaissance des réseaux, d'une profondeur maxi de 1,5 m	U		350.00	
<b>B.6</b>	<b>SONDAGE DESTRUCTIF</b>				
B.6.1	De 0 à 20 m de profondeur	ML	70	30.00	2100.00
B.6.2	De 20 à 40 m de profondeur	ML		35.00	
B.6.4	Plus value pour tubage provisoire	ML		12.00	
<b>B.7</b>	<b>SONDAGE CAROTTE</b>				
B.7.1	De 0 à 10 m de profondeur	ML	10	100.00	1000.00
B.7.2	De 10 à 20 m de profondeur	ML		130.00	
B.7.4	Plus value pour tubage provisoire	ML		27.00	
B.7.6	Fourniture de caisses à carottes	ML	10	5.00	50.00
<b>B.8</b>	<b>ESSAI DE PERMEABILITE</b>				
B.8.1	Essais Lefranc	U	14	350.00	4900.00
<b>B.9</b>	<b>PIEZOMETRE</b>				
B.9.1	Fourniture et mise en place d'un tube pvc crépiné de 50 mm de diamètre	ML	140	12.00	1680.00
B.9.2	Fourniture et mise en place d'une tête de protection cimentée	U	7	250.00	1750.00
B.9.3	Pose d'un système d'enregistrement de niveau automatique pour une durée de 3 mois	U	7	662.00	4634.00
<b>B.13</b>	<b>FOUILLE MANUELLE</b>				
B.13.1	Fouille manuelle, prof. < 1,5 m, y compris rebouchage sommaire avec les matériaux extraits	U	2	350.00	700.00
<b>B.14</b>	<b>FOUILLE BLINDEE</b>				
B.14.1	Amené et repli du matériel	U	1	950.00	950.00
B.14.2	Terrassement et blindage 1.3 m x 1.3 m	M3	5	410.00	2050.00
B.14.3	Remblaiement	M3	5	85.00	425.00
	<b>SOUS TOTAL B</b>				23424.00

Total HT : 25294.00 €

TVA 19.6 % : 4957.62 €

Total TTC : 30251.62 €

(Montant en Euros)

+ décapage végétal des 2 sites d'infiltration = 1 500 €

+12 000 litres (4€/m<sup>3</sup>) = 48 €

+ fluo x 400 g (30 € \*40g) = 300 €

+ 3 déplacements équipe de régie = 1 500 €

**TOTAL = 28 642 € HT**

# **- Annexe 14 - Mesures complémentaires**

Cette annexe contient 6 pages

## **ANNEXE 14 : Mesures complémentaires : Point de mesure en réseau / lysimètre**

*Par manque de temps et de moyens*

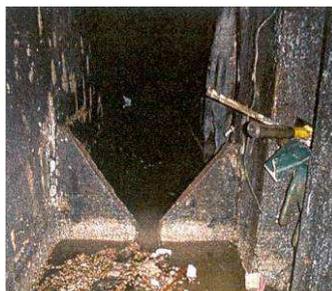
### **Principe de la méthode**

Une autre méthode a été proposée sur Argenteuil ; celle-ci consiste à estimer le rôle que peuvent jouer les réseaux d'assainissement, en tant qu'axe de drainage des eaux de source aux horizons superficiels du sol en temps de pluie.

### **Mode opératoire**

L'objectif est de se positionner en tête de bassin versant afin de limiter la surface active et d'estimer les eaux de nappe qui seront collectées par le réseau. Ce point a été proposé rue de la Source.

Il s'agit de mettre en œuvre un point de mesure de réseau à seuil (pour observer au mieux les variations de faible débit) d'assainissement dans un secteur sensible aux nappes affleurantes. Le réseau joue le rôle de drain. L'objectif, en temps sec, est de constater des débits en jeu des sources lorsque théoriquement il ne devrait pas y avoir de débit (heures creuses de 23 h à 6 h du matin). Les débits que nous sommes en droit d'attendre sont faibles, ainsi il a été fait le choix technologique de mettre un seuil en réseau. Ceci représente un suivi des ECPP (mesures sur 1 mois : octobre) avec des approximations liées aux eaux pluviales qui vont dans le réseau de manière légitime mais leur temps de concentration est court. Le suivi des ECM ne peut être calculé avec des réseaux unitaires.



**Figure 100 : Déversoir triangle**

### **Limites de cette méthode**

La principale limite de ce mode opératoire consiste en la difficulté de définir la capacité du réseau à réceptionner (drainer) les eaux du sous-sol, qui est tributaire de multiples paramètres non maîtrisés : surface active liée à l'alimentation de la nappe, nature des eaux récoltées, état du réseau, position des nappes, nature du sol, ...

Ainsi cette mesure est une vision schématisée pour avoir un aperçu du rôle entre les nappes et les réseaux d'assainissement. Il s'agit d'une réflexion avec des positions relatives. Il est indéniable que les mesures obtenues ont permis de visualiser des eaux claires uniquement par temps sec.

Pour revenir sur la nature des eaux claires, il peut s'agir de fuites d'eau potable chez les riverains, même si cette interprétation reste à relativiser.

## **Les éléments d'interprétation**

Les résultats obtenus sont constatés par rapport à des positions relatives, mais ceci nécessiterait de creuser un peu plus le problème du lien qu'entretient les eaux de nappe et les réseaux d'assainissement (en fonction de son état et de la présence de nappe, il peut être constitué un axe de drainage privilégié).

## **Lysimètre**

### **Principe de la méthode**

Le lysimètre décrit en fait différents appareils qui ont cependant en commun d'analyser les interactions Eau-Sol-Vivant, la part du vivant pouvant être limitée aux végétaux ou incluant la microfaune et flore du sol, selon les cas. Le lysimètre permet d'étudier et comparer le comportement de l'eau et de ses solutés dans son parcours dans le sol ou lors de son rejet vers le compartiment atmosphérique via l'évaporation et la transpiration des plantes ou de la microflore et microfaune du sol (infiltration, solubilisation de minéraux, température selon la profondeur, le type de sol et le taux de végétalisation ou la nature des végétaux, tension électrique/conductivité (traduisant la teneur en sels), variation d'acidité et de dureté ou de composition de l'eau, mesure des flux).

Les lysimètres présentent quelques limites. S'ils se rapprochent du sol à étudier, naturel ou anthropisé (sol agricole, urbain et/ou pollué), le compartiment ainsi isolé en reste différent pour certaines caractéristiques. Son état pédologique et son fonctionnement écologique peuvent, avec le temps, diverger car l'écologie du sol y est contrainte par le faible volume de sol et son isolement (l'eau y pénètre et en sort, mais non les organismes fouisseurs ; exemple : les vers de terre peuvent y disparaître et ne pas pouvoir y revenir), la décolmatation continue du sol et la production de sol à partir de la roche-mère par les racines ou micro-organismes peuvent y différer, etc. L'évaporation y diffère légèrement et si la circulation horizontale des éléments physiques et vivants y est entretenue ou permise, leur circulation horizontale ne peut s'effectuer hors du volume contraint par l'installation.

Il a été prévu, en collaboration avec le SIARV, de mettre en œuvre 4 lysimètres pour estimer l'impact des eaux pluviales faisant varier un seul paramètre : la profondeur de prélèvements des eaux qui s'infiltrent dans le sol. Ceci aurait permis de constater s'il y a une rétention d'eau de sub surface à sol identique.

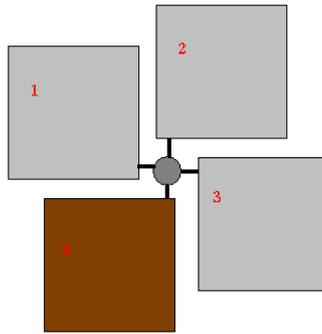


Figure 101 : exemple de disposition des 4 zones de lysimètres

Néanmoins le syndicat mettant du temps pour se décider, tout le mode opératoire sera présenté dans ce présent rapport, mais la phase de réalisation n'a pas pu être entreprise.

### Mode opératoire

Il a été proposé une alternative de mise en œuvre : 4 lysimètres complètement identiques (surface à définir entre 20 m<sup>2</sup> et 100 m<sup>2</sup>) où seule la profondeur du lysimètre varie (par exemple 0 cm (surface de géotextile qui sera la référence pour le volume précis de précipitation, 50 cm, 1 m et 2 m). Ceci permettrait de constater l'importance du pouvoir de rétention du sol en fonction de la profondeur.

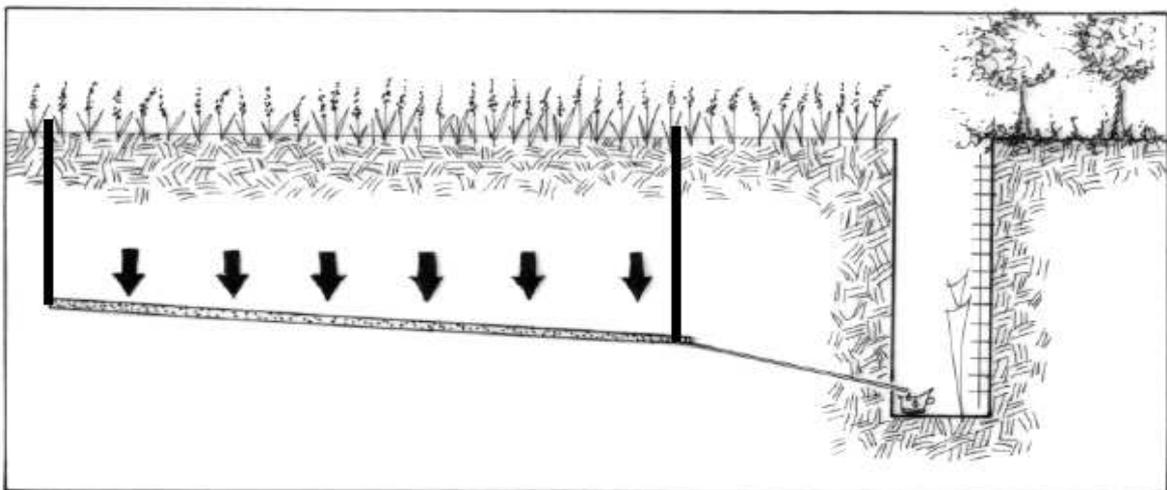


Figure 102 : schéma de principe de mise en œuvre du lysimètre

Sur les premières orientations : il faudrait terrasser en 2 temps (excavation de terre végétale, soit les 20 à 40 premiers centimètres puis les alluvions), puis isoler le système (mettre une pente pour récupérer les eaux dans un secteur « bas » où l'eau serait récoltée). En effet, celle-ci doit remplir de multiples fonctions : drainage des effluents liquides et gazeux, étanchéité, confinement

des déchets, réhabilitation du site... Cette barrière doit également maintenir ses caractéristiques durant toute la durée de vie du site et ceci malgré les différentes sollicitations auxquelles elle est soumise : mécaniques (tassements différentiels), climatiques (cycles de gel/dégel et dessiccation/humidification), chimiques (forte capacité d'échange cationique des matériaux argileux), hydrauliques (ruissellement de l'eau d'infiltration). Les matériaux constituant la couche d'étanchéité sont des matériaux naturels (argiles seules ou traitées par bentonite) ou composites (géo-membranes, géo-synthétiques bentonitiques).

Hypothèse sur 100 m<sup>2</sup> de lysimètre (10m sur 10m) :

- 150 m<sup>3</sup> de déblais (pente allant de 1m à 1,5m + 1 regard allant à 2m de profondeur), en voyant large,
- 150 m<sup>2</sup> de géotextile (+ 100 m<sup>2</sup> de géotextile pour l'étaler sur le terrain afin d'avoir une idée précise des volumes d'eau en jeu sur la période d'essai = référence), soit en tout 250 m<sup>2</sup>,
- 1 drain sur 10 m (diamètre d'environ 10 ou 15 cm),
- Mise en œuvre du regard de visite (avec jonction avec le drain en fond de lysimètre),
- Remblais de 150 moins le volume de terre du regard (prévoir une mise en décharge de 3-4 m<sup>3</sup> ou étalement sur le reste du terrain) + compactage. Donc, pas de drain en surface, je suis assez d'accord avec vous.

Il faudrait reconstituer le compactage réel avec 0 déblai, tout ce qui a été terrassé sera remis sur site de manière le plus homogène possible. Lors de la phase de lancement, il faut conserver en tête qu'il s'agit d'une hypothèse légèrement faussée compte-tenu de la non présence de végétaux au départ de l'expérience.

Il serait nécessaire d'avoir un aperçu des contraintes aval, en mettant un piézomètre pour vérifier si la nappe alluviale a une incidence sur les expériences. De manière complémentaire, nous pourrions faire des mesures d'humidité dans le sol en fonction de la profondeur pour mieux comprendre le parcours de l'eau.

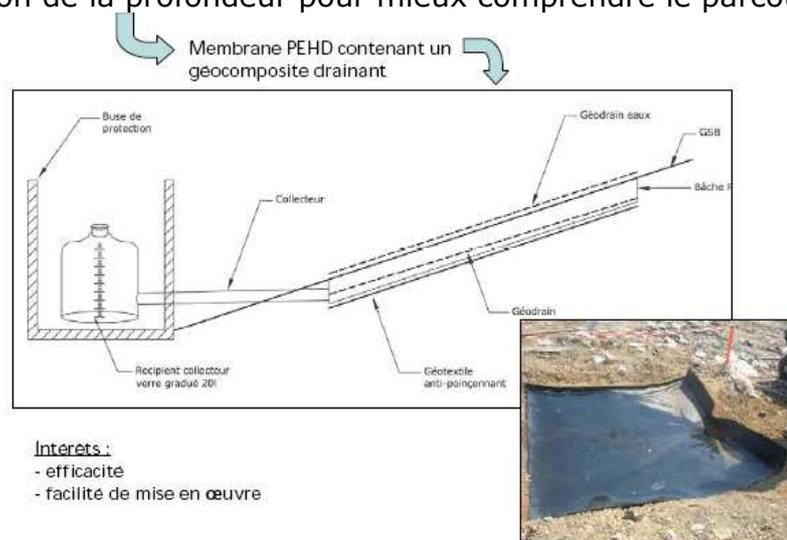


Figure 103 : Mise en œuvre de géomembrane et de procédés de collecte des eaux

## Etat du site envisagé

Le site envisagé se situe dans la vallée où s'écoule l'Yerres. Les lysimètres se placent sur des alluvions modernes et anciennes surmontant les formations du ludien (marnes supragypseuses et calcaire de Champigny).



Figure 104 : Visualisation par Google Earth du site envisagé

Les sondages mettent en évidence de la terre végétale limoneuse et limono-sableuse de teinte brunâtre sur une épaisseur variant de 30 cm à 1,5 m. Puis il est rencontré des remblais (limoneux et graveleux) entre 1 m et 1,70 m, puis des formations alluvionnaires.

Le niveau statique de la nappe alluviale (le 13/12/2005) baignant les alluvions modernes et les formations Ludiennes se situait entre -1,50 m et -1,65 m par rapport au terrain naturel (soit 31,6 NGF). Ces niveaux, relation directe avec le niveau de l'Yerres, sont susceptibles de varier en fonction des crues et décrues sans qu'il soit possible d'estimer l'ampleur de ces fluctuations et sans un suivi à long terme (plusieurs années).

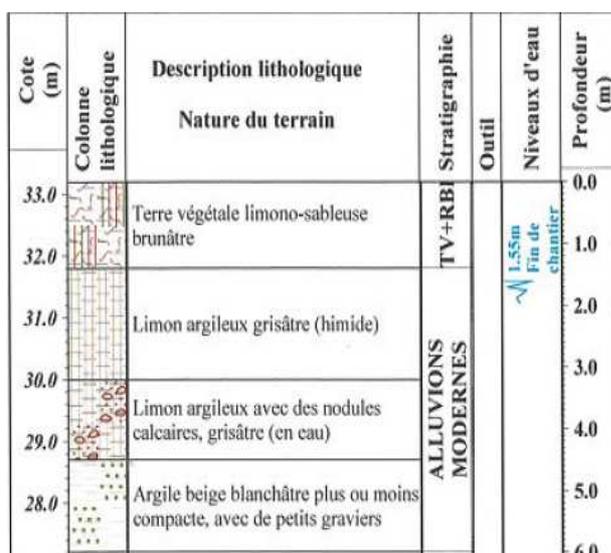


Figure 105 : Coupe géologique du site envisagée

## Les éléments d'interprétation

Il est indispensable de veiller à ce qu'il n'y ait pas d'obstacle qui fasse un effet d'écran. Par exemple s'il y a un arbre à proximité, il est nécessaire que le lysimètre soit installé à 4 h, soit d'un arbre de 5 m de hauteur le lysimètre sera à 20 m pour éviter toute perturbation (recommandations météo France pour les pluviomètres).

Un lysimètre permet le calcul de l'évapo-transpiration sur des périodes données. L'objectif second de la mise en œuvre de lysimètre peut permettre au syndicat de faire des essais sur l'évapo-transpiration en plantant différentes essences afin de travailler sur la rédaction d'un guide de recommandation des plantes, compte-tenu de leur consommation en eau et de leur capacité à s'adapter aux conditions climato-géographiques. Ceci permet de mieux comprendre le fonctionnement des sols, bien plus complexe qu'il n'y paraît au premier abord, et toujours mal compris.

### Bordereau unitaire des coûts de mise en œuvre de lysimètres

Intitulé	Quantité	Unité	PU	Prix	
Installation chantier	1	Forfait			
			Sous total	<b>0</b>	
<b>Regard de visite</b>					
Terrassement (déblais) (2mx2m)	4	m <sup>3</sup>			
Pose d'un regard de visite (1,5mx1,5m)	1	Forfait			
			Sous total	<b>0</b>	
<b>Bâche</b>					
Remblais du regard pour mettre pente sur 100m <sup>2</sup>	4	m <sup>3</sup>			
Pose de géo-drain	100	m <sup>2</sup>			
Pose de canalisation 150 mm (point bas du lysimètre au regard)	2	ml			
Mise de gouttières à l'envers pour démarquer zone d'étude	40	ml			
			Sous total	<b>0</b>	
<b>1er lysimètre (100m<sup>2</sup>)</b>					
Terrassement terre végétale (déblais 20 à 40 cm de prof)	40	m <sup>3</sup>			
Stockage sur site	40	m <sup>3</sup>		0	0
Pose de géo-membrane (au niveau latéral)	20	m <sup>2</sup>			
Pose de géo-drains (en fond de fouille)	110	m <sup>2</sup>			
Pose de canalisation 150 mm (point bas du lysimètre au regard)	2	ml			
Remblais terre végétale	40	m <sup>3</sup>			
Compactage pour avoir sol au niveau du terrain naturel	1	Forfait			
Mise de gouttières à l'envers pour démarquer zone d'étude	40	ml			
			Sous total	<b>0</b>	
<b>2ème lysimètre (100m<sup>2</sup>)</b>					
Terrassement terre végétale (déblais 20 à 40 cm de prof)	40	m <sup>3</sup>			
Terrassement alluvions (déblais de 40 à 80 cm de prof)	40	m <sup>3</sup>			
Stockage sur site	40 +40	m <sup>3</sup>		0	0
Pose de géomembrane (au niveau latéral)	36	m <sup>2</sup>			

Pose de géodrains (en fond de fouille)	110 m <sup>2</sup>		
Pose de canalisation 150 mm (point bas du lysimètre au regard)	2 ml		
Remblais alluvions	40 m <sup>3</sup>		
Compactage pour avoir sol au niveau du terrain naturel -40cm	1 Forfait		
Remblais terre végétale	40 m <sup>3</sup>		
Compactage pour avoir sol au niveau du terrain naturel	1 Forfait		
Mise de gouttières à l'envers pour démarquer zone d'étude	40 ml		
		Sous total	<b>0</b>
<b>3ème lysimètre (100m<sup>2</sup>)</b>			
Terrassement terre végétale (déblais 20 à 40 cm de prof)	40 m <sup>3</sup>		
Terrassement alluvions (déblais de 40 à 80 cm de prof)	110 m <sup>3</sup>		
Stockage sur site	40 + 110 m <sup>3</sup>	0	0
Pose de géomembrane (au niveau latéral)	64 m <sup>2</sup>		
Pose de géodrains (en fond de fouille)	110 m <sup>2</sup>		
Pose de canalisation 150 mm (point bas du lysimètre au regard)	2 ml		
Remblais alluvions	110 m <sup>3</sup>		
Compactage pour avoir sol au niveau du terrain naturel -40cm	1 Forfait		
Remblais terre végétale	40 m <sup>3</sup>		
Compactage pour avoir sol au niveau du terrain naturel	1 Forfait		
Mise de gouttières à l'envers pour démarquer zone d'étude	40 ml		
		Sous total	<b>0</b>
<b>Instrumentation</b>			
Bac de rétention d'eau	4 pièces		
Dispositif de suivi de niveau d'eau dans les bacs	4 pièces		
Piezomètre	1 pièces		
Sondes d'humidité ?	pièce		
Préleveur automatique	pièce		
		Sous total	<b>0</b>
		Total HT	<b>0</b>
		Divers et imprévus	0
		Total HT	0
		<b>Total TTC</b>	<b>0</b>

# **- Annexe 15 - Diagramme de perméabilité**

Cette annexe contient 1 page

La granulométrie (tableau 5), la porosité et la fissuration d'un sol sont des indicateurs intéressants pour la gestion de l'eau car ils déterminent les possibilités d'infiltration dans le sol.

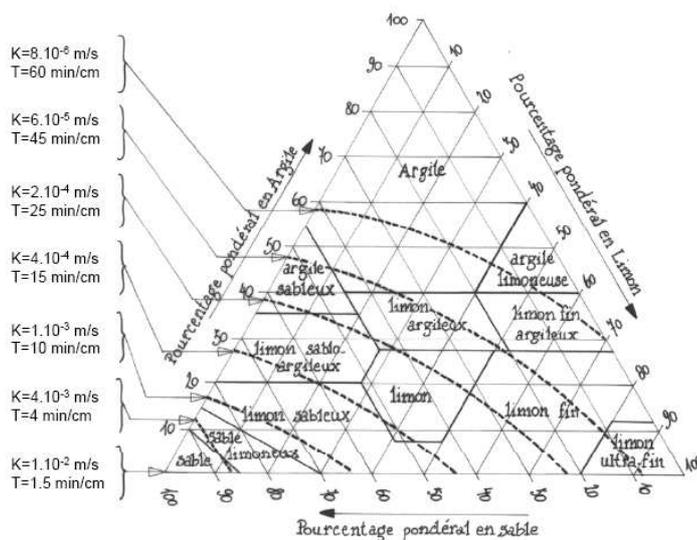
**Tableau 14 : Ordres de grandeur de la conductivité hydraulique dans différents sols**

K (m/s)	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-9}$	$10^{-10}$	$10^{-11}$
Types de sols	Gravier sans sable ni éléments fins	Sable avec gravier, Sable grossier à sable fin		Sable très fin Limon grossier à limon argileux			Argile limoneuse à argile homogène				
Possibilités d'infiltration	Excellentes	Bonnes		Moyennes à faibles			Faibles à nulles				

Source Musy & Soutter, 1991

En fait, il est défini de manière générale le coefficient d'emmagasinement comme étant la source de l'eau disponible, porosité efficace, avec l'eau libérable par dépression. Le diagramme présenté en figure 106 met en relation la perméabilité et la transmissivité du milieu saturé avec les 3 principales phases granulométriques.

Ce diagramme est un outil pour définir la carte de perméabilité des sols.



**Figure 106 : Diagramme de perméabilité et la transmissivité du milieu saturé en fonction de leur granulométrie**

# **- Annexe 16 - Proposition de techniques alternatives en fonction des contraintes**

Cette annexe contient 3 pages

Voici le tableau des solutions techniques envisageables :

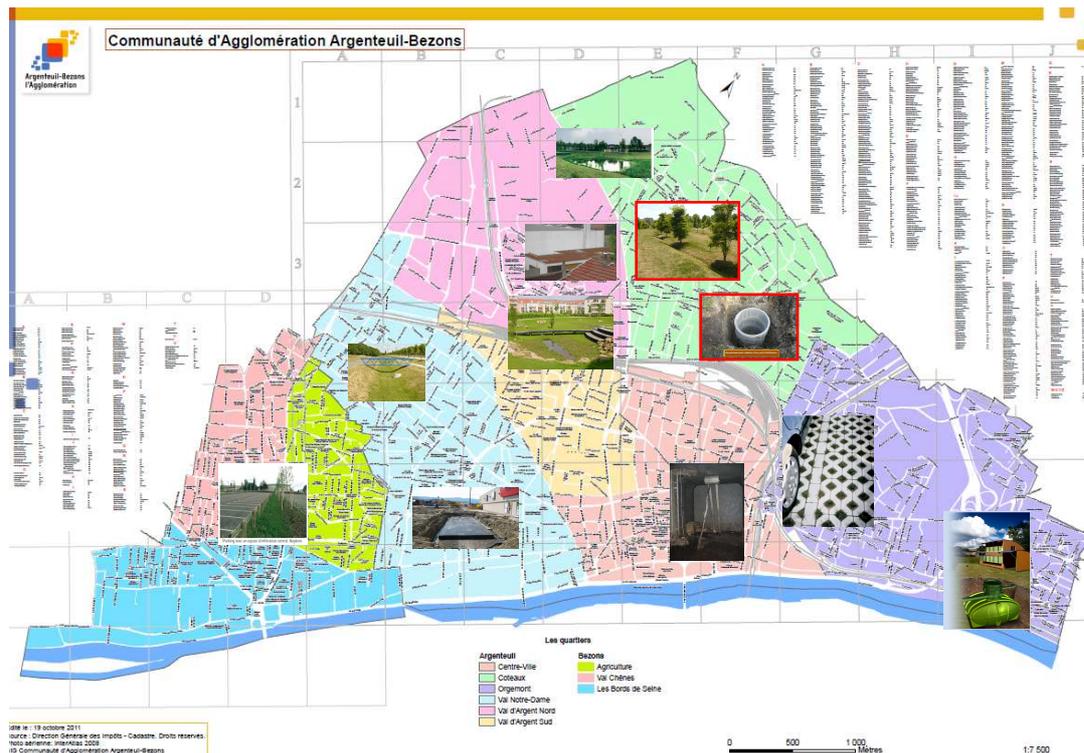
Type d'installation	Phénomène	Contraintes bloquantes	Photos	Public concerné
Bassin à l'air libre	Infiltration / évaporation	Place disponible		Public
Bassin enterré	Stockage restitution	Place disponible / coût		Public
Trottoir réservoir	Infiltration / restitution	Place disponible / coût		Public
Zone d'expansion de crue	Infiltration / évaporation / stockage restitution	Place disponible		Public
Chaussée à structure réservoir (type SAUL = structure alvéolaire ultra légère)	Infiltration / stockage restitution	coût		Public

Type d'installation	Phénomène	Contraintes bloquantes	Photos	Public concerné
Noue / fossés	Infiltration	gypse		Public / Privé
Tranchée d'infiltration / drainante	Infiltration / stockage restitution	gypse		Public / Privé
Toiture végétalisée / réservoir	Infiltration / évaporation / stockage restitution	coût / entretien		Public / Privé
Puits d'infiltration	infiltration / injection	gypse		Public / Privé
parking engazonné	Infiltration / stockage restitution	gypse		Public / Privé
citerne	Réutilisation diverse	X		Privé

Voici une proposition de techniques à mettre en œuvre sur le territoire communautaire en fonction des contraintes rencontrées :

- Gypse
- Pente
- Type d'habitat
- Emprises au sol / disponibilité
- Surface active

Il peut mis en œuvre plusieurs techniques alternatives. Il n'y a pas de mono technique à envisager, en tenant compte du contexte technico-socio géographique avec des études de sites en amont.



Les images avec un halo rouge mentionnent que l'infiltration est possible mais seulement en surface à cause du gypse.