

Procédures d'autorisation et de déclaration des projets d'aménagement
au titre du code de l'environnement rubrique 2.1.5.0 : rejets d'eaux pluviales

Études de sols pour les ouvrages d'infiltration ou de rétention d'eaux pluviales

L'essentiel

Les ouvrages de recueil, stockage temporaire puis restitution des eaux pluviales, visant à limiter les incidences des projets sur le cycle de l'eau, nécessitent des études de sol. Étayant l'analyse de l'état initial du site et de son environnement, ces études ont plus spécifiquement pour objectif de fournir les données nécessaires à l'analyse de la faisabilité des ouvrages, notamment d'infiltration, à leur conception et dimensionnement, et à la définition de prescriptions pour leur réalisation et leur exploitation.

Elles comportent d'abord une analyse documentaire étayée par une visite de site approfondie, puis des reconnaissances de terrain visant selon les besoins à préciser la caractérisation des sols. Les résultats sont consignés dans un rapport, exploité ensuite par la maîtrise d'œuvre dans le cadre de la réalisation de l'avant-projet et du projet d'aménagement.

La réalisation de telles études, adaptées aux spécificités du projet et de son environnement, constitue une étape essentielle dans les choix et la conception du système de gestion des eaux pluviales. Le rapport d'études a vocation à être intégré dans le dossier « loi sur l'eau » comme un élément utile à sa compréhension.

Afin d'accompagner l'instructeur de la police de l'eau et des milieux aquatiques, cette fiche synthétise des notions indispensables à la compréhension des rapports d'études de sols. Une démarche progressive que sont susceptibles de suivre les bureaux d'études pour la conduite de telles études est ensuite décrite. Puis la méthodologie et les résultats attendus sont détaillés. L'attention de l'instructeur est ensuite attirée sur des vérifications essentielles lors de l'analyse technique du dossier soumis par le pétitionnaire, à adapter aux enjeux. Pour les ouvrages d'infiltration, cette fiche est un préalable à la fiche n°7 dédiée à leur conception et dimensionnement.

Table des matières

1.Contexte et objectifs.....	2
1.1 Des besoins d'études de sols.....	2
1.2 Objectifs de la fiche.....	2
2.Notions fondamentales sur les sols.....	3
2.1 Horizons d'un sol.....	3
2.2 Caractérisation et classification des sols.....	3
2.3 Présence d'eau dans le sol.....	4
2.4 Perméabilité des sols.....	4
3.Démarche générale.....	5
3.1 Adaptation des objectifs des études aux spécificités des aménagements.....	5
3.2 Démarche progressive en 1 à 3 phases.....	6
4.Éléments de méthode.....	7
4.1 Phase 1 : analyse documentaire et reconnaissances superficielles des sols.....	7
4.2 Phase 2 : approfondissement des investigations sur site.....	8
4.3 Phase 3 : diagnostic d'une problématique géotechnique spécifique.....	10
4.4 Rapport d'études.....	12
5.Exemple.....	13
5.1 Analyse du rapport de phase 1.....	13
5.2 Analyse du rapport de phase 2.....	14
6.Foire aux questions.....	15
7.Pour en savoir plus.....	15
7.1 Guides.....	15
7.2 Bases de données nationales.....	15
8.Vérifications essentielles.....	16
8.1 Disponibilité de l'étude de sol.....	16
8.2 Phasage adapté de l'étude.....	16
8.3 Points de vigilance.....	16

1. Contexte et objectifs

1.1 Des besoins d'études de sols

Limiter les incidences des projets d'aménagement urbain sur le cycle de l'eau nécessite de plus en plus fréquemment de réaliser des ouvrages de stockage temporaire des eaux pluviales. L'eau stockée est ensuite restituée au milieu naturel par infiltration dans le sol support ou bien à débit maîtrisé vers un milieu aquatique superficiel, ou encore en cas d'impossibilité vers un réseau de collecte superficiel ou enterré (cf. Fiche n° 1 : Principes fondamentaux).



Illustration 1 : Les études de sols sont par exemple nécessaires au dimensionnement d'ouvrages d'infiltration et à la définition des conditions de terrassement et de tenue des parois des ouvrages (Ph. Cerema).

Quelles que soient ses fonctions, tout ouvrage nécessite une **étude de sols préalable** à sa conception. S'agissant d'eaux pluviales, le contenu de cette étude est, pour partie, couvert par le Titre I – Réseaux du Fascicule 70 du CCTG auquel se réfère le Titre II - Ouvrages de recueil, stockage et restitution des eaux pluviales¹. Au sens du fascicule, les porteurs de projet doivent adapter le contenu des études préalables aux spécificités du projet, aux modes de gestion des eaux pluviales et aux conditions d'exploitation future des ouvrages envisagés (surveillance et entretien). Conjugée à des données topographiques et hydrologiques, l'étude de sols permet de caractériser l'état initial du site et de son environnement (eaux souterraines, etc.). Elle fournit aussi des données nécessaires à l'analyse de la faisabilité de l'infiltration des eaux pluviales. Elle oriente le cas échéant l'adaptation et l'optimisation des formes des ouvrages, tels qu'un bassin de stockage, une tranchée drainante ou une noue d'infiltration.

L'étude de sols est réalisée par des **bureaux d'études spécialisés**. Les missions d'ingénierie géotechnique normalisées² proposées par ces bureaux d'études restent encore aujourd'hui largement axées sur l'analyse des risques géologiques et géotechniques inhérents à un projet de génie civil. Leur élargissement aux enjeux et spécificités en matière de gestion des eaux pluviales nécessite une **sensibilisation de l'ensemble des acteurs** : maître d'ouvrage, maître d'œuvre, bureaux d'études spécialisés, entreprises de travaux et services de la police de l'eau. Ces études ont vocation à être intégrées pleinement dans la définition du projet d'aménagement et à être fournies en appui du document d'incidences établi dans le cadre de la procédure administrative au titre du Code de l'Environnement.

1.2 Objectifs de la fiche

La présente fiche vise à accompagner l'instructeur dans l'analyse de l'étude de sols préalable, dont le rapport est produit par le pétitionnaire dans le cadre des dossiers de déclaration et d'autorisation pour la rubrique 2.1.5.0 - Rejets d'eaux pluviales. Ce rapport constitue en effet un document utile à la compréhension du dossier. A ce titre, il est intégré dans la pièce n°6, auquel la pièce n°4 (document d'incidences) fait appel pour justifier les choix en matière de gestion des eaux pluviales.

A cette fin, la présente fiche :

- rappelle quelques **notions fondamentales** sur la caractérisation des sols et notamment leur perméabilité,
- explicite les **objectifs des études de sol préalables** et présente une démarche d'étude de sols progressive et son articulation possible avec la procédure au titre du code de l'environnement,
- présente les **méthodes et moyens d'investigation** mobilisables par le pétitionnaire et son prestataire et précise le contenu attendu d'un rapport d'étude de sols,
- identifie des **vérifications essentielles** à réaliser par l'instructeur et des points de vigilance associés lors de l'analyse du dossier soumis par le pétitionnaire.

¹ Bulletin officiel, 2003. La révision du Fascicule 70 – Ouvrages d'assainissement (titre I et titre II) a été engagée en 2012.

² NF P94-500 (novembre 2013). Missions d'ingénierie géotechnique – Classification et spécifications.

Encadré n°1 – Sensibilisation des pétitionnaires en amont

Le service instructeur aura tout intérêt à sensibiliser très en amont les pétitionnaires et leurs prestataires à l'importance de ces études de sols, adaptées aux problématiques des incidences du projet sur le cycle local de l'eau. Il s'agira généralement d'approches complémentaires à d'autres reconnaissances géotechniques préalables, pour la pose de réseaux d'eaux usées ou pour la réalisation de voiries par exemple.

2. Notions fondamentales sur les sols

2.1. Horizons d'un sol

Le sol constitue la couche superficielle de la croûte terrestre. Il est composé de matières minérales (squelette granulaire), organiques (humus), mais également d'eau et de vides. D'une épaisseur variant de quelques centimètres à plusieurs mètres, il présente différentes couches, plus ou moins parallèles selon leur histoire, appelées horizons, et reposant sur la roche sous-jacente ou substratum. Chaque horizon possède des **caractéristiques propres** qui influenceront, par exemple, sur la faisabilité d'un ouvrage d'infiltration des eaux pluviales.

L'étude des sols mobilise différentes disciplines scientifiques. La pédologie étudie les sols dans leur partie superficielle, tandis que la géologie et l'hydrogéologie visent respectivement la connaissance du substratum et la caractérisation des eaux souterraines. La géotechnique vise quant à elle l'analyse de la stabilité des sols et des interactions entre les terrains et les ouvrages projetés.

2.2 Caractérisation et classification des sols

La **texture d'un sol** rend compte de la répartition des particules du squelette granulaire selon leur diamètre. Outre la présence de cailloux et de graviers, chaque sol contient ainsi des proportions différentes de **sables**, de **limons** et d'**argiles** qui influent directement sur son usage, sa stabilité, sa perméabilité, etc. (cf. Tableau 2.1).

La **structure d'un sol** représente l'agencement du **squelette granulaire**. Un sol pourra être homogène ou, au contraire, présenter des hétérogénéités telles que des zones fissurées ou fortement compactées. La structure d'un sol influe donc également sur sa perméabilité. Son hétérogénéité est susceptible de favoriser la création de chemins

d'écoulement préférentiel, augmentant localement sa perméabilité. La teneur en matières organiques joue un rôle important dans la structuration des sols.

Particules	Diamètre ⁱ	Rétention d'eau	Rétention de MO ⁱⁱ	Sensibilité au tassement	Perméabilité ⁱⁱⁱ	
					m / s	mm / h
Argiles	< 2 µm	++	++	++	10 ⁻⁷ à 10 ⁻¹¹	jusqu'à 0,36
Limons	2 - 20 µm	+	+	+	10 ⁻⁵ à 10 ⁻⁷	de 0,36 à 36
Sables fins et grossiers	20 µm - 2 mm	-	-	-	10 ⁻² à 10 ⁻⁵	de 36 à 36 000
Graviers et cailloux	> 2 mm	--	--	--	> 10 ⁻²	au-delà de 36 000

ⁱ Adapté de NF EN ISO 14688 - Dénomination, description et classification des sols. D'autres classifications peuvent être rencontrées.

ⁱⁱ Matières Organiques.

ⁱⁱⁱ Cas simple d'un sol homogène. Ces valeurs indicatives ne peuvent en aucun cas se substituer à la réalisation d'essais in situ.

Tableau 2.1 : Exemple de classification granulométrique et caractéristiques des particules meubles constituant le squelette granulaire d'un sol.

La connaissance des horizons d'un sol passe avant tout par des **reconnaisances visuelles directes puis en recourant à des sondages**. Ceux-ci permettent de réaliser une coupe du sol, appelée **profil pédologique** (cf. Illustration 2). L'identification d'espèces hygrophiles renseigne également sur la présence d'eau dans le sol.

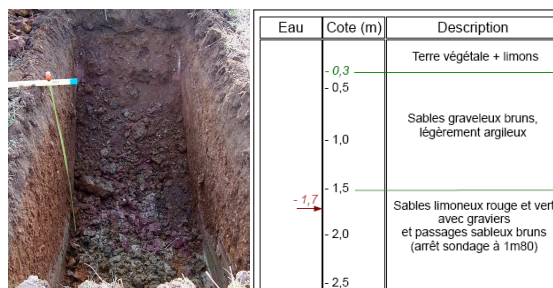


Illustration 2 : Exemple de profil pédologique au droit d'une fosse réalisée à la pelle mécanique. Le sol est suffisamment cohérent pour permettre à cette profondeur la tenue des parois de la fouille. La description des sols s'appuie ici sur une reconnaissance visuelle. L'eau a été rencontrée à une profondeur de 1,70 m (Ph. : Cerema).

Selon les besoins, les reconnaissances visuelles peuvent être complétées par des **essais d'identification** visant l'analyse de la granulométrie, la mesure de la teneur en eau, l'indice de plasticité, du sol, etc. Ces caractéristiques permettent de situer l'horizon considéré dans une classification. Différentes méthodes de **classification des sols** sont disponibles. Par exemple, la classification proposée par la norme NF P 11-300 de septembre 1992 est couramment utilisée en génie civil : *Classification des matériaux utilisables dans la construction des*

remblais et des couches de forme d'infrastructures routières. Une classification a été adaptée plus spécifiquement pour les ouvrages d'assainissement dans le titre I – Réseaux d'assainissement du Fascicule 70 du CCGT. Il n'existe pas de classification spécifique aux ouvrages du titre II – Ouvrages de recueil, stockage et restitution des eaux pluviales.

Les exigences de densification des villes conduisent de plus en plus à la réalisation de projets de renouvellement urbain. Les **sols urbains** appellent une vigilance particulière, du fait des spécificités liées aux activités humaines passées : remaniement et compactage pouvant réduire la perméabilité des terrains, apports de matériaux extérieurs, apports de matières organiques, contaminations associées à l'historique de l'occupation des sols (par exemple, teneurs en métaux). Ils peuvent ainsi présenter une forte **hétérogénéité**, laquelle doit être appréhendée de manière adaptée.

2.3 Présence d'eau dans le sol et dans le sous-sol

Zones saturée et non saturée

La présence éventuelle d'eau dans le sol ou le sous-sol se caractérise par celle d'une ou de plusieurs nappes **aquifère(s)**, c'est-à-dire d'un ou de plusieurs horizon(s) suffisamment perméable(s) pour contenir une nappe d'eau souterraine. Le **niveau piézométrique** rend compte de la profondeur du toit de la nappe. Le terme de « *masse d'eau souterraine* » a été consacré par la Directive Cadre sur l'Eau, à l'échelle des districts hydrographiques. La zone non saturée désigne le terrain situé au dessus du toit de la nappe, la zone saturée, en dessous du toit de la nappe (cf. *Illustration 3*). La teneur en eau des sols non saturés est variable et influencée par différents processus, au fil des saisons notamment : infiltration des pluies, évaporation, échanges sol-plantes, rétention d'eau.

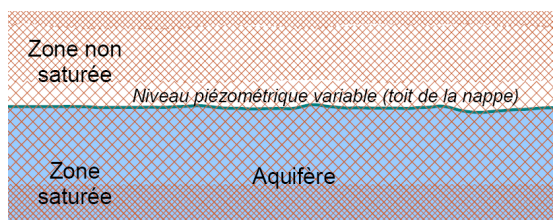


Illustration 3 : Zones saturée et non saturée : représentation schématique.

Sol, eau et risques géotechniques

Le comportement d'un sol au droit et à proximité d'un ouvrage peut être influencé par la présence

d'eau. L'analyse des aléas géotechniques est essentielle. Ces aléas recouvrent principalement :

- **le glissement de terrain** : dans les secteurs à risque, l'aléa peut être aggravé en cas de forte saturation des sols en eau ;
- **l'affaissement ou l'effondrement** lié à l'existence de cavités souterraines naturelles (karsts, etc.) ou artificielles, à des déformations différées du sol ou encore à des phénomènes de dissolution en présence d'eau (gypse) ;
- **l'entraînement de matériaux fins** en présence d'écoulements d'eau ; ce risque peut être aggravé dans des sols hétérogènes ;
- **le tassement du sol** lié à la nature du sol (consolidation naturelle, drainage de l'eau) ou à la présence de sols remaniés ou mal compactés (travaux antérieurs) ;
- **le retrait-gonflement des argiles** en présence d'eau : selon l'ampleur du phénomène, des fissures peuvent apparaître dans le sol.

L'analyse de l'état initial du site et de son environnement permet l'évaluation préalable des aléas potentiels, même limités, afin de prévenir les risques géotechniques, susceptibles de mettre en cause la réalisation des travaux, les fonctionnalités et la pérennité des ouvrages : tassements différentiels, fissurations, défauts d'étanchéité, réduction de capacité d'infiltration, etc.

2.4 Perméabilité des sols

La propriété de **perméabilité** d'un sol rend compte de son aptitude à laisser l'eau s'infiltrer et circuler, sous l'effet d'un gradient hydraulique (variation des charges d'eau). Elle se caractérise par un **coefficient de perméabilité également, appelé aussi conductivité hydraulique et noté K**, généralement exprimé en mètre par seconde (m / s). Elle est définie par la loi de Darcy, dont la formulation générale est la suivante :

$$v = K \cdot \text{grad } H$$

avec :

- v : vitesse d'écoulement (vitesse d'infiltration),
- H : charge hydraulique totale traduisant l'ensemble des forces exercées sur le fluide (force de gravité et force de pression liée aux interfaces air / eau)
- K : conductivité hydraulique rendant compte de manière globale de l'ensemble des forces de frottement exercé sur le fluide et des propriétés du fluide lui-même.

K va donc dépendre de l'état hydrique du sol (teneur en eau) et de la viscosité du fluide (notamment de sa température). Elle est donc variable dans le temps et dans l'espace.

On connaît mieux la loi de Darcy sous la forme suivante lorsque l'écoulement est unidirectionnel

(vertical ou horizontal) et lorsque le milieu traversé est saturé et dans des conditions de température standard (dans ce cas, K est constant : conductivité hydraulique "à saturation") :

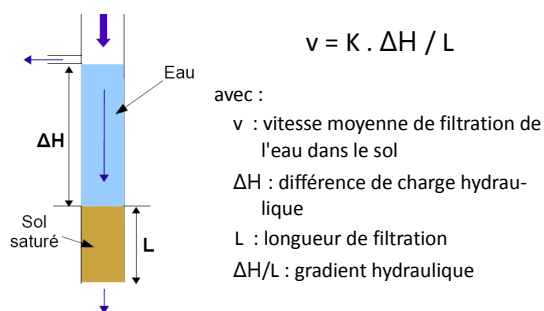


Illustration 4 : Dispositif expérimental et notations habituelles de la loi de Darcy.

En géotechnique, un horizon de sol sera généralement considéré comme imperméable s'il présente une conductivité hydraulique inférieure à 10^{-9} m/s soit environ 0,004 mm/h³. Un tel horizon ne permet pas l'infiltration des eaux pluviales, mêmes pour les événements pluvieux courants (c'est le cas des très faibles perméabilités de 10^{-9} jusqu'à 10^{-7} m/s). Les sols limoneux (silteux), marneux (mélanges d'argile et de calcaire) et argileux seront quant à eux peu à très peu perméables, en l'absence d'écoulements préférentiels dans les terrains. Ils sont néanmoins potentiellement susceptibles d'absorber des pluies courantes, non prolongées. En revanche, les sols comportant une forte proportion de sables ou de graves présenteront un caractère relativement perméable à très perméable.

Mesure du coefficient de perméabilité K

K peut être obtenu par des essais de perméabilité en laboratoire ou *in situ*. Dans le cadre d'études de sols préalables aux ouvrages de stockage, le recours à des essais en laboratoire n'est pas adapté : ils ne permettent pas de tenir compte de l'état des sols en place. Le principe de l'essai retenu (§ 4.2) conditionnera la nature et éventuellement la composante dominante (verticale ou horizontale, cf. Illustration 6 et Tableau 4.2), de la vitesse d'infiltration v ou du coefficient K mesuré⁴. Lorsque le sol est préalablement saturé en eau avant la réalisation de l'essai, les résultats fournissent une **conductivité hydraulique "à saturation"**, notée généralement K_s ou K_{sat} (cf. Illustration 5). La perméabilité étant liée au sol et à son état hydrique, variables dans l'espace et dans le temps, il est important pour des ouvrages d'infiltration de répéter des mesures à différents endroits et de réaliser des mesures dans des conditions hydriques défavorables (sol saturé et nappe haute).

3 Castany G. (2002). *Principes et méthodes de l'hydrogéologie*.

4 Certains essais pourront être réalisés avec un gradient hydraulique égal à 1 et permettre ainsi d'accéder directement à la valeur de K ; d'autres fourniront au préalable la valeur de la vitesse de filtration v.

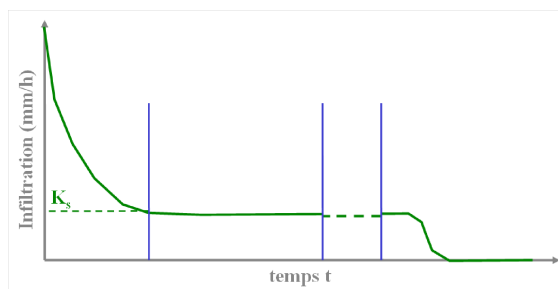


Illustration 5 : Evolution de l'infiltration lors d'un essai.

Capacité d'absorption q_{as}

La capacité d'absorption d'un sol, notée q_{as} (m³/s/m²), représente le flux d'eau maximal qu'un sol est capable d'absorber par unité de surface. On parle également de **capacité d'infiltration**. Elle dépend de la conductivité hydraulique du sol dans l'ensemble des directions (K) ainsi que des conditions aux limites de la cavité dans laquelle elle est mesurée, et le cas échéant des conditions de fonctionnement de l'ouvrage projeté (teneur en eau du sol, hauteur d'eau projetée dans l'ouvrage). Cette valeur est nécessaire au dimensionnement des ouvrages d'infiltration. Sous certaines conditions, elle pourra être assimilée à la conductivité hydraulique à saturation (cf. Fiche n° 7 : Conception et dimensionnement des ouvrages d'infiltration).

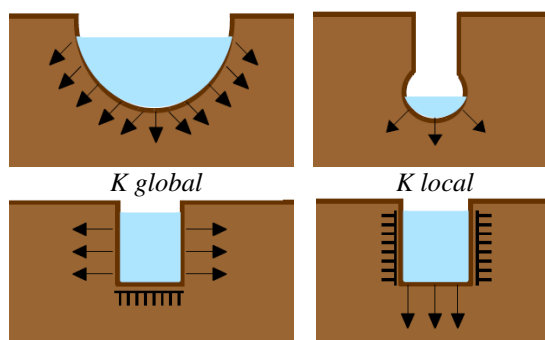


Illustration 6 : Nature du coefficient de perméabilité K mesuré selon le principe de l'essai retenu et la surface intéressée par l'essai.

3. Démarche générale

3.1 Adaptation des objectifs des études aux spécificités des aménagements

Les reconnaissances menées par le bureau d'études spécialisé doivent fournir un ensemble de données permettant tout d'abord de caractériser l'état initial du site et de son environnement puis d'analyser la faisabilité des ouvrages, d'adapter leur conception et dimensionnement, et le cas échéant de définir des prescriptions pour la phase de travaux et l'exploitation future des ouvrages (cf. Tableau 3.1)

Les objectifs et finalités des études de sol doivent être clairement explicités par les porteurs de projet dans le(s) **dossier(s) de consultation** des bureaux d'études. L'ensemble des données acquises est consigné dans un **rapport d'études** (§ 4.4), qui fera l'objet d'une exploitation par l'équipe projet (maîtrise d'œuvre, bureau d'études conception) lors de la réalisation de l'avant-projet et du projet d'aménagement (cf. *Fiche n° 7 : Conception et dimensionnement des ouvrages d'infiltration*). La réalisation des études de sols d'une part et leur exploitation pour la gestion des eaux pluviales d'autre part constituent bien **deux étapes distinctes** de la définition d'un projet.

Objectifs de la mission du prestataire	Finalités en vue de l'exploitation ultérieure par la maîtrise d'œuvre et l'équipe projet
Fournir des données pour caractériser l'état initial du site et de son environnement	Caractérisation du contexte pédologique, géologique et hydrogéologique du projet en vue d'apprécier les conditions de ruissellement initiales. Identification de la présence éventuelle d'une nappe d'eau souterraine et caractérisation de sa vulnérabilité et de celle de ses usages. Détection de risques de mouvement de terrain et rôle éventuel des écoulements d'eau.
Fournir les données permettant l'analyse de la faisabilité des aménagements et ouvrages	Analyse de la faisabilité de l'infiltration des eaux pluviales; nécessité de recourir à un exutoire superficiel complémentaire. Identification des masses d'eaux souterraines et analyse de leur vulnérabilité; nécessité d'étanchéifier l'ouvrage. Analyse de la stabilité des sols.
Présenter les données permettant d'orienter les choix de conception des ouvrages, et de guider leur dimensionnement	Détermination de la profondeur maximale des ouvrages. Analyse de l'opportunité de séparer les fonctions de stockage et d'infiltration ¹ . Définition d'une loi d'infiltration pour le dimensionnement hydraulique (lors de restitution par infiltration, même partielle). Justification de la tenue mécanique des aménagements et ouvrages, choix d'éventuels matériaux de substitution en fond de fouille. Dimensionnement des géosynthétiques (drainage eau ou gaz, filtration, séparation ou étanchéité).
Présenter les données permettant la définition de prescriptions pour la phase de travaux	Choix des moyens de terrassement. Définition de préconisations pour la tenue des fouilles, si requis (blindage, etc.). Conditions d'épuisement des fouilles (pompage, ...) et de remise en eau (si présence d'une nappe). Conditions de ré-emploi des matériaux extraits.
Présenter les données permettant le suivi de l'ouvrage dans le temps	Définition d'indicateurs de suivi des performances de l'ouvrage ⁴ : conductivité hydraulique à saturation, état initial de la zone non saturée et des eaux souterraines le cas échéant.

¹ : Les pollutions véhiculées et infiltrées seront d'autant plus limitées que l'infiltration se produira près du point de chute de la pluie, sous réserve d'un sol apte à l'infiltration (cf. *Fiche 7 : Conception et dimensionnement des ouvrages d'infiltration*).

Tableau 3.1 : Objectifs et finalités des études de sol préalables aux ouvrages de stockage des eaux pluviales (certains éléments dépassent les seuls besoins du document d'incidence dans le cadre de la procédure au titre du Code de l'Environnement) (d'après IFSTTAR, 2011).

3.2 Démarche progressive en une à trois phases

Les études de sol préalables se déclinent en deux phases, voire trois en cas de problématique spécifique :

- la **phase 1** est une analyse essentiellement documentaire avec inspection de site et reconnaissances superficielles éventuelles ; elle est dite « qualitative » ;
- la **phase 2** consiste en des reconnaissances *in situ*, avec le cas échéant la réalisation d'essai de perméabilité ; elle est dite « quantitative » et relève du niveau avant-projet ;
- la **phase 3** correspond en général à des moyens d'investigations plus lourds ou moins courants : elle n'est conduite qu'en cas de problématique(s) spécifique(s) identifiée(s).

Bien que leur ampleur soit adaptée au contexte du site et à la taille du projet, toute étude de sol est amenée à suivre cette logique progressive, permettant de passer d'une connaissance générale du site à une approche plus locale. Les phases sont menées de manière successive par le pétitionnaire, conjointement aux étapes de définition du projet d'aménagement et à la préparation du dossier au titre de la loi sur l'eau (cf. *Illustration 7*). Ce phasage est susceptible d'être adapté selon les spécificités du projet et les enjeux associés. L'instruction d'une déclaration ou d'une demande d'autorisation nécessite que les études de sols aient été réalisées et exploitées, sauf contraintes particulières.

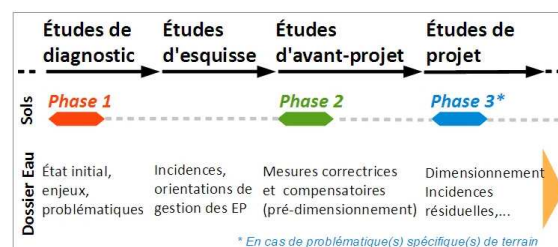


Illustration 7 : Progressivité des études de sol et articulation avec les études préalables à l'établissement du dossier loi sur l'eau.

Plus spécifiquement, le déroulement des études de sols est présentée sur l'illustration 8. Le ou les rapport(s) d'études de sol ont vocation à être intégrés dans la pièce n°6 correspondant aux éléments graphiques, plans ou cartes utiles à la compréhension du dossier de déclaration ou de demande d'autorisation. Ils constituent un support permettant au service instructeur d'évaluer les choix de gestion des eaux pluviales du pétitionnaire, notamment sur l'infiltration des eaux pluviales. Le phasage, le contenu et le niveau de détail attendus de ces études, ainsi que les méthodes et moyens d'investigation mobilisables par le pétitionnaire, sont explicités dans la partie suivante.

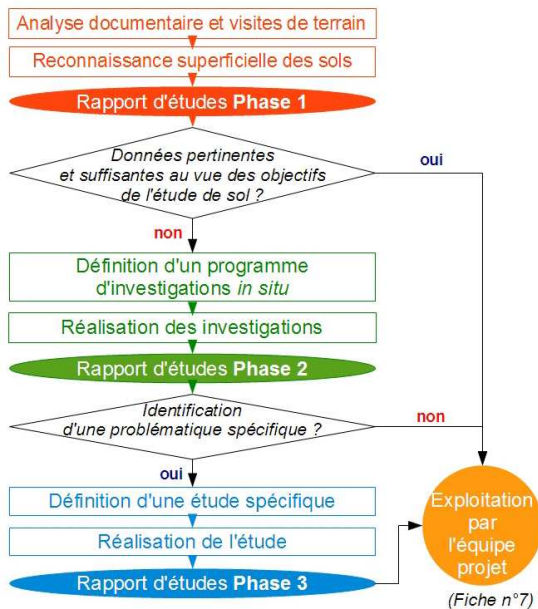


Illustration 8: Logique du déroulement des études de sol préalables à la réalisation d'ouvrages de stockage des eaux pluviales.

Des sols homogènes bien documentés en phase 1 et des ouvrages superficiels peuvent motiver une dispense de phase 2 est susceptible d'être motivée par. Par ailleurs, ces études sont également interfacées avec celles visant la délimitation des zones humides⁵.

4. Éléments de méthode

4.1 Phase 1 : analyse documentaire et reconnaissances superficielles des sols

La phase 1 des études de sol est réalisée préalablement aux esquisses de projet. Elle consiste en une analyse documentaire du site couplée à une ou plusieurs visites et enquêtes de terrain et des premières reconnaissances superficielles des sols. Les données mises à disposition du prestataire par le maître d'ouvrage comportent *a minima* une présentation et un plan de situation du projet ainsi qu'un levé topographique réalisé par un géomètre. Le maître d'ouvrage peut y joindre tout autre document en sa possession (historique du site, etc.).

Analyse documentaire

Pour la réalisation de l'analyse documentaire, différentes sources d'informations sont mobilisables par le prestataire (cf. *Tableau 4.1*). Elles visent à établir une première description du contexte pédologique, géologique, hydrogéologique et géotechnique du site.

⁵ Arrêté du 24 juin 2008 précisant les critères de définition et de délimitation des zones humides en application des articles L. 214-7-1 et R. 211-108 du code de l'environnement

Thèmes	Ressources mobilisables
Topographie, hydrographie	Cartes topographiques au 1/25 000 ^{ème} (IGN). Modèles numériques de terrain (MNT-Modèle Numérique de Terrain, BD Alti de l'IGN). Levés topographiques des terrains (géomètre). Photographies aériennes (archives, BD Ortho de l'IGN). Cartes des bassins versants et sous-bassins versants, du réseau hydrographique (BD Carthage de l'IGN). Zonages d'assainissement, documents d'urbanisme (PLU). PPR Inondation, atlas des zones inondées ou inondables. Système d'Information sur l'Eau (portail EauFrance). Études antérieures (services en charge de la police de l'eau, maîtres d'ouvrage, bureaux d'études, etc.).
Pédologie, géologie, hydrogéologie, géotechnique	Cartes pédologiques (INRA), portail GIS Sol (Refersols, etc.) Portail InfoTerre du BRGM (cartes géologiques au 1/50 000 ^{ème} , BD du Sous-Sol). Système d'Information sur l'Eau (portail EauFrance) : base de données sondages, piézométrie (proximité des eaux souterraines) et qualité des eaux souterraines. SDAGE, SAGE : masses d'eaux souterraines. Cartes d'aptitude des sols à l'infiltration (zonages d'assainissement). Dossiers de protection de captages AEP (périmètres de protection, PPR Mouvements de terrains, atlas départemental des mouvements de terrains, de sécheresse géotechnique (DDT, DREAL), BD Cavités souterraines du BRGM, Portail Cartorisque. Études antérieures (bureau d'études spécialisé).
Historique du site	Diagnostics préalables à la réalisation de documents d'urbanisme (SCOT, PLU), photographies aériennes. Portails Basol (MEDDTL) et Basias (BRGM). Études antérieures (maîtres d'ouvrage, bureaux d'études, etc.).

⁶L'existence de cartes d'aptitude des sols à l'infiltration, à une échelle plus ou moins grande, ne se substitue pas à des reconnaissances in situ complémentaires, mais peut utilement orienter leur contenu.

Tableau 4.1 : Sources principales d'informations mobilisables pour l'analyse documentaire du site en phase 1.

Visite du site et reconnaissances superficielles des sols

Sur la base d'une première connaissance documentaire du site, un géologue ou géotechnicien d'un bureau d'études spécialisé réalise une visite du site du projet et de son environnement. Il procède à une **analyse visuelle** de la géomorphologie, repère les écoulements superficiels, de la végétation (répartition de plantes hygrophiles), identifie d'éventuels points d'accès à des eaux souterraines (présence de puits, etc.), détecte la présence d'éventuels désordres liés à des mouvements de sols, questionne les riverains, etc. Les échanges avec le voisinage peuvent être particulièrement utiles pour appréhender des phénomènes saisonniers, non visibles à la période de réalisation de l'étude.

Des reconnaissances des horizons superficiels du sol consiste généralement en la réalisation de **sondages à la tarière à main** (cf. *Illustration 9a*). Ces sondages permettent une première caractérisation du sol pour des profondeurs ne dépassant généralement pas 1,5 à 2 mètres en l'absence de refus, ainsi que la présence de venues d'eau à faible profondeur ou d'une nappe superficielle. Ces reconnaissances peuvent en partie recouper celles néces-

saires à la délimitation des **zones humides**, classifiant les sols au regard de leur hydromorphie. La réalisation de plusieurs sondages permet d'appréhender la variabilité spatiale des formations superficielles. Cette caractérisation est formalisée par des profils pédologiques et une campagne photographique. Une gamme de perméabilités des sols superficiels peut alors être estimée.

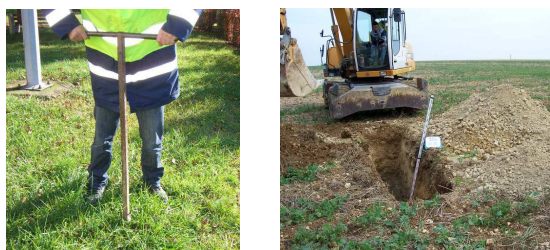


Illustration 9 : Reconnaissances de sol par sondage : a) à la tarière à main (matériel léger, Phase 1), b) à la pelle mécanique (matériel plus lourd, Phase 2) (Ph. : Cerema).

Si le prestataire a recours à des études antérieures au projet, le service instructeur s'assurera qu'il justifie de leur **représentativité** : profondeur des reconnaissances au regard de la localisation et du niveau prévu pour la base de l'ouvrage, absence de remaniement ultérieur du sol, caractère récent des données relatives aux eaux souterraines, etc.

Les conclusions de l'analyse documentaire, cartographiées à une échelle adaptée, guident le nombre, la nature et la localisation des sondages et, le cas échéant, des essais de perméabilité à réaliser en phase 2, ainsi que la période de l'année à privilégier pour mener ces reconnaissances. Étayant les études diagnostics, ces conclusions contribuent déjà à la définition d'orientations possibles en matière de gestion des eaux pluviales dans le cadre des études d'esquisse conduites par la maîtrise d'ouvrage. Elles permettent également au maître d'œuvre et au service instructeur de juger de la pertinence du programme de reconnaissances approfondies à mettre en œuvre ou mis en œuvre en phase 2.

4.2 . Phase 2 : approfondissement des reconnaissances sur site

Sur la base des conclusions de la phase 1 et des premières orientations retenues pour les esquisses de projet, le maître d'œuvre est amené à valider avec le maître d'ouvrage le lancement d'une étude de phase 2, basée sur un programme de reconnaissances approfondies sur site. Ce programme - nature, nombre, localisation et profondeur des essais - est adapté à chaque projet : contexte géologique, superficie, topographie, orientations d'aménagement, etc. L'étude de phase 2 est générale-

ment lancée lorsque les esquisses du projet sont validées⁶. Elle est réalisée par un bureau d'études spécialisé qui détaille les reconnaissances et motive le cas échéant d'éventuelles adaptations proposées (protocoles d'essai, etc.).

La phase 2, consistant en une étude quantitative, comprend selon les besoins des **reconnaissances de sol complémentaires** et des **essais de perméabilité in situ**. De même, la recherche et l'analyse d'éventuelles cavités ou autres hétérogénéités par prospection géophysique peut être conduite.

Reconnaissances approfondies des sols

Il peut s'agir de **sondages à la pelle mécanique**, ou sondages en **fosse pédologique**⁷ (cf. *Illustration 9b*), notamment en cas de refus à la tarière à main⁸, de reconnaissances d'horizons de sol ou de sous-sol à des profondeurs plus importantes, de l'ordre de 2 à 4 mètres, ou de doutes sur la présence d'écoulements d'eau localisés. Sa profondeur, de l'ordre de 2 à 5 mètres selon la tenue des terres et le projet, est appréhendée suite aux conclusions de la phase 1.

La réalisation de ces sondages pourra parfois s'avérer délicate par exemple en cas de sols compacts. Le prestataire proposera alors un autre moyen d'investigation tels que sondages carottés pour une description continue des sols et du sous-sol, essais au pénétromètre ou au pressiomètre pour évaluer la résistance des sols et du sous-sol selon la profondeur⁹.

Pour des aménagements et ouvrages projetés à fortes emprises ou en zones contraintes (encombrement du sous-sol, etc.) ou bien encore pour des terrains particulièrement hétérogènes, il est nécessaire de multiplier les points de mesures. Il est également possible de recourir à des **méthodes de reconnaissance des sols non destructives**. Ces méthodes de reconnaissances reposent sur les principes de la géophysique. Elles offrent une connaissance plus aisée de l'hétérogénéité et des singularités du sol sur quelques mètres. Elles facilitent donc la **délimitation des zones homogènes** d'un

6 Lorsque le projet d'aménagement prévoit la réalisation d'ouvrages de stockage superficiels des eaux pluviales n'étant pas soumis à de fortes sollicitations mécaniques (par exemple, une noue végétalisée bordant une voie douce de circulation), et pour lesquels l'absence d'aléas géotechniques a été validée lors de la phase 1, la réalisation du programme reconnaissances approfondies peut éventuellement être incluse au sein d'une tranche conditionnelle à la phase 1 (matériel d'investigation léger généralement).

7 Excavation du sol, généralement de forme parallélépipédique ou pyramidale tronquée, réalisée à la pelle mécanique ou minipelle. Lorsqu'une fosse est utilisée pour un essai de perméabilité, ces dimensions doivent pouvoir être contrôlées.

8 En raison d'un galet, d'une roche ou de frottements latéraux trop importants à partir d'une certaine profondeur.

9 Ces essais sont généralement nécessaires pour évaluer la portance des sols, en vue par exemple de la réalisation de voiries ou de bâtiments, ou d'un bassin enterré en génie civil.

site. Elles peuvent également permettre une bonne estimation de l'épaisseur de la zone non saturée. Le **radar géologique** est par exemple une méthode d'investigations aisée de mise en œuvre. D'autres techniques sont disponibles : sismique réfraction, résistivité électrique, micro-gravimétrie¹⁰. Elles ne se substituent cependant en aucun cas à des reconnaissances destructives de sols et à la réalisation d'essais de perméabilité *in situ*, nécessaires de toute façon à leur étalonnage.

Pour des ouvrages enterrés tels que bassin de stockage comblé de matériaux poreux, les reconnaissances de sol devront permettre au pétitionnaire de justifier de la **stabilité des fouilles** et de la **qualité de portance du sol** en fonction de la profondeur. Cela requiert généralement des essais au pénétromètre statique ou dynamique.

Essais de perméabilité

Pour l'évaluation de la perméabilité ou conductivité des sols (cf. § 2.4), il existe plusieurs méthodes d'essais *in situ*, basées sur des approches théoriques différentes. Le choix d'une méthode d'essai dépendra de :

- la plage de perméabilités des sols à mesurer, susceptible d'avoir été évaluée qualitativement en phase 1,
- la profondeur des mesures à mener, selon les ouvrages et aménagements envisageables,
- la nature et la composante privilégiée de perméabilité le cas échéant, selon les ouvrages et aménagements d'infiltration des eaux pluviales (horizontale, verticale, globale).

Ainsi une **cohérence** devra autant que possible être recherchée entre les **caractéristiques des essais** de perméabilité et les **aménagements envisagés** pour l'infiltration : principe d'essai, importance des zones investiguées, localisation et positionnement des zones investiguées en X, Y, Z (parois latérales et / ou niveau inférieur à la base de l'ouvrage), fonctionnement et vieillissement de l'ouvrage. Le prestataire justifie ses choix en se basant notamment sur :

- les **gammes de perméabilité** ou conductivité hydraulique pressenties et jugées favorables à l'infiltration des eaux pluviales, supérieures ou égales généralement à 10^{-7} m/s (c'est-à-dire 0,36 mm/h ou 8,6 mm / jour)¹¹ ;

- les **caractéristiques des ouvrages projetés**¹², pouvant conduire à privilégier un type d'essais parmi d'autres : essais sur surface plane, en sondage ou en cavité de grandes dimensions¹³.

Les essais présentés (cf. *Tableau 4.2*) sont réalisés en zone non saturée, dans un **sol préalablement saturé en eau** pour les besoins de l'essai. Ils fournissent ainsi une conductivité hydraulique "à saturation". Le bureau d'études doit s'assurer que le sol est effectivement saturé avant de poursuivre l'essai de perméabilité, sur une durée suffisante. Les différentes durées d'essais pour la mise en eau, la saturation préalable et la mesure de perméabilité à saturation dépendent des caractéristiques du sol.

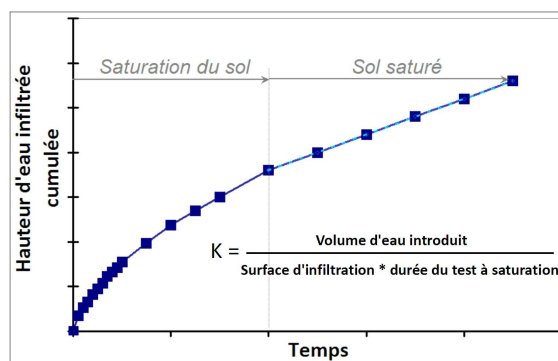


Illustration 10: Principe d'exploitation d'un essai de perméabilité (Porchet, infiltromètre à double-anneau de type ouvert, Matsuo). La hauteur d'eau infiltrée par unité de temps est plus importante en phase de saturation du sol, puis se stabilise une fois le sol saturé.

Le prestataire est responsable de la localisation précise des essais, affinée sur site à partir du dossier de consultation et au vu de l'emplacement et la profondeur pré-déterminés des ouvrages le cas échéant. Un nombre plus important d'essais est nécessaire pour des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales à emprise ou linéaire important et / ou en cas d'hétérogénéité des sols rencontrés. Il n'est pas possible de fournir une densité minimale d'essais de perméabilité : cela sera tributaire des résultats des autres investigations.

Les résultats des essais de perméabilité peuvent faire l'objet d'**incertitudes** notables. Ces incertitudes sont liées à la stratégie d'échantillonnage : investigations plus ou moins ponctuelles, hétérogénéités du sol, etc. Elles peuvent provenir également des conditions de réalisation des essais (lissage des parois). Le respect de bonnes pratiques et, dans une certaine limite, la multiplication des essais permettent de les réduire. Il s'agit notamment

¹⁰ Pour en savoir plus : Goutaland et al. (2007). *Utilisation de méthodes géophysiques pour caractériser les bassins d'infiltration d'eaux pluviales*. Programme ANR Eco-pluies.

¹¹ Il s'agit d'une valeur seuil indicative à ce stade : cf. Fiche n° 7 - Conception et dimensionnement des ouvrages d'infiltration.

¹² Il faut intégrer les connaissances connues en matière de colmatage inhérent à ces systèmes (cf. Fiche n°7 – Conception et dimensionnement des ouvrages d'infiltration). Par exemple, une tranchée se colmate par le fond. On pourra privilégier soit des mesures de perméabilités globales soit des mesures de conductivité hydraulique à saturation.

¹³ Ces essais ne font pas aujourd'hui l'objet d'un protocole normalisé.

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

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

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

Tableau 4.2 : Domaine d'application et principes des essais de perméabilité couramment utilisés dans les études de sol pour les ouvrages d'infiltration des eaux pluviales (Ph. : EPNAC et Cerema).

d'éviter les tassements localisés du sol, de scarifier les parois des surfaces d'infiltration. Il convient également de tenir compte de la période de réalisation des essais sur les résultats. Le cas échéant, ces incertitudes et conditions sont prises en compte lors de la conception et du dimensionnement des ouvrages d'infiltration (cf. Fiche n°7 - Conception et dimensionnement des ouvrages d'infiltration).

Évaluation du niveau de la nappe

Les reconnaissances de sols par **sondage** doivent permettre également de confirmer et de préciser la présence éventuelle d'une nappe d'eau souterraine, de manière temporaire ou intermittente (traces d'hydromorphie). C'est pourquoi elles doivent être conduites à une profondeur suffisante au vu du positionnement de la base des ouvrages envisagés (et inversement, la position du toit de la nappe est susceptible d'influencer ultérieurement cette conception dans une démarche itérative). Les **périodes de hautes eaux** sont à privilégier afin de situer le toit maximal de la nappe. Un ou plusieurs piézomètres peuvent le cas échéant être implantés dans le cadre de la phase 2 (ou lors de la réalisation du projet). Le besoin est apprécié au cas pas cas. Le service de la police de l'eau pourra le cas échéant demander au pétitionnaire de suivre les incidences

des aménagements et ouvrages sur la nappe, dans le cadre de la procédure au titre de la loi sur l'eau.

Synthèse cartographique

Un document cartographique synthétise les résultats de l'ensemble des reconnaissances réalisées : implantation des essais, profil pédo-géologique, caractéristiques des zones homogènes, venues d'eau, etc. Ces résultats sont exploités par la maîtrise d'œuvre pour la conception, le pré-dimensionnement et le dimensionnement du système de gestion des eaux pluviales, lors de l'établissement de l'avant projet et du projet. La phase 2 marque généralement la fin des études de sol préalables. Lorsqu'une problématique spécifique de terrain est identifiée, le prestataire peut être amené à recommander la réalisation d'un diagnostic ciblé (phase 3).

	Données fournies par le bureau d'études spécialisées en vue de l'exploitation ultérieure des études de sols par la maîtrise d'œuvre et l'équipe projet	Phase 1	Phase 2	Phase 3
Localisation du projet dans son territoire	<ul style="list-style-type: none"> plan(s) de localisation du projet à une échelle adaptée, coordonnées référencées du projet, références consultées lors de l'analyse documentaire, photos prises le jour des visites de site et des reconnaissances, horodatées. 	• • •	(•)	
Contextes topographique et hydrographique	<ul style="list-style-type: none"> topographie des terrains : altitude, courbes de niveaux, pentes, sous-bassins versants, présence de cours d'eau, rus ou sources (permanents ou intermittents), plans d'eau, réseaux d'irrigation, présence de zones inondables, de zones humides ou de stagnation d'eau. 	• • •		
Contextes pédologique, géologique et géotechnique	<ul style="list-style-type: none"> description des sols sur l'épaisseur investiguée, zones homogènes / hétérogènes, sensibilité à l'eau, présence de matières organiques, gamme de perméabilités estimées des sols (ou précédemment évaluées), variations spatiales, formations géologiques en présence (alluvionnaires, fluvio-glaçiaires, ...), aléas / risques géotechniques (glissement, affaissement ou effondrement de terrain, tassement du sol, phénomène de retrait-gonflement des argiles, de dissolution, mouvements de terrain, remontées possibles de nappe) et délimitation des zones concernées. 	• • • •	(•) (•) (•) (•)	(•)
Contexte hydrogéologique	<ul style="list-style-type: none"> présence d'une nappe phréatique (type, profondeurⁱ, sens d'écoulement, mode d'alimentation, battements saisonniers), vulnérabilité des eaux souterraines (si présence), état et objectifs d'état de la masse d'eau associée, présence de captages d'eaux souterraines réglementés (eau potable), de puits ou forages, ou de tout autre usage des eaux souterraines, nature et épaisseur de la zone non saturée, hétérogénéité et degré de fissuration éventuel, présence d'autres écoulements souterrains (venues d'eau, écoulements préférentiels). 	• • • •	(•) (•) (•)	
Historique du site et autres	<ul style="list-style-type: none"> historique de l'occupation des sols (activités, reconversion de sites, ...), problématique sols pollués, encombrement du sous-sol (réseaux, puits, installations de géothermie), zones protégées (zones Natura 2000, ZNIEFF, etc.). 	• • •	(•) (•)	(•)
Résultats des reconnaissances in situ	<ul style="list-style-type: none"> localisation des investigations menées, sur plan topographique à une échelle adaptée, compte-rendu de sondages, profils pédologiques, avec niveau d'eau, des sols datés et visés, compte-rendus d'essais de perméabilité datés et visés, avec courbes d'infiltration compte-rendus d'essais de caractérisation en laboratoire datés et visés. 	• •	• (•) • (•)	
Recommandations sur la mise en œuvre de futurs ouvrages	<ul style="list-style-type: none"> stabilité générale du site, dispositions constructives selon les ouvrages, prescriptions en phase de travaux difficultés éventuelles à prévoir lors de la phase de travaux (extraction, etc.), possibilité de réemploi des matériaux en cas de déblais, portance des sols, traitement éventuel de la base de l'ouvrage, préconisations pour la tenue des fouilles, conditions de terrassement et de mise en œuvre, prise en compte de points particuliers (ouvrages environnant, ouvrages d'art, maisons sans fondation, etc.). 	• • • • •	(•) (•) (•) (•) (•) (•) (•)	(•) (•) (•) (•)

(•) : contenu conditionné par les conclusions de la phase d'études précédentes.

Tableau 4.3 : Synthèse du contenu attendu d'un rapport d'études de sol préalable aux ouvrages de gestion des eaux pluviales, selon les différentes phases d'investigations (à adapter aux spécificités du projet et aux enjeux associés).

4.3 Phase 3 : diagnostic d'une problématique géotechnique spécifique

Lorsqu'elles sont nécessaires, les études de phase 3 sont lancées par le pétitionnaire lors des études de projet, voire dès la fin des études d'avant-projet. Selon les spécificités du site et les caractéristiques du projet, l'analyse peut concerner :

- la caractérisation précise de cavités souterraines, de sols karstiques, compressibles ou sujets à dissolution dans l'environnement des ouvrages (identifiés en phase 1 ou phase 2),
- la présence de sols pollués pouvant restreindre les possibilités d'infiltration,
- l'analyse de la stabilité des fouilles ou des modalités de rabattement d'une nappe phréatique pour la réalisation d'un ouvrage profond (bassin de stockage enterré),
- les solutions à apporter pour répondre à ces difficultés attendues de mise en œuvre (par exemple, étanchéité, profilage des talus, blindages éventuels).

4.4 Rapport d'études

Contenu du rapport d'études

Le rapport d'études fournit en termes clairs et compréhensibles les résultats issus des phases d'investigations pour les différents intervenants du projet : maître d'ouvrage, maître d'œuvre, bureaux d'études. Les résultats sont ensuite exploités en tant que de besoin par ces derniers pour répondre aux finalités visées et alimenter le dossier loi sur l'eau¹⁴.

Le contenu attendu du rapport est adapté aux différentes phases des études de sol préalables (cf. *Tableau 4.3*). Qu'il s'agisse des phases 1 ou 2, on rappelle que les études de sol préalables n'incluent pas de missions d'interprétation de la part du prestataire, c'est-à-dire que ce dernier n'a pas vocation à répondre directement aux questionnements soulevés. Cependant, le rapport d'études peut émettre des recommandations sur des questions ciblées.

Compte-rendus d'investigations

Qu'il s'agisse de la formalisation des profils pédogéologiques, d'essais de perméabilité, ou d'essais de caractérisation des sols en laboratoire, les compte-rendus d'investigations contiennent *a minima* les informations contextuelles suivantes :

- nature de l'investigation réalisée (référence normative le cas échéant),
- méthode d'essai et moyens matériels mis en œuvre,
- date de réalisation de l'investigation et conditions météorologiques observées,
- localisation de l'investigation réalisée (X, Y, Z et précision du système de référence), ou du prélèvement effectué dans le cas d'essais de caractérisation en laboratoire,
- géométrie des fouilles réalisées le cas échéant,
- résultat de l'essai sous forme graphique et numérique le cas échéant,
- photos ainsi que toute observation pertinente sur le déroulement de l'investigation au vue de ses objectifs (venues d'eau, etc.).

Pour les essais faisant l'objet d'une norme (essais de perméabilité, essais de caractérisation des sols en laboratoire), le contenu minimal du compte-rendu est précisé par celle-ci.

¹⁴ Il est possible que les études de phase 3, lorsque celles-ci sont requises, ne soient pas achevées lors du dépôt du dossier. Le service instructeur définit alors avec le pétitionnaire les conditions ultérieures de porter-à-connaissance dans le cadre de la procédure.

Encadré n°2– Quelques normes (non exhaustif)

NF P 94-500 (novembre 2013). Missions d'ingénierie géotechnique – Classification et spécifications.

NF P 11-300 (septembre 1992). Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières.

NF EN ISO 22282-2 (janvier 2014). Essais géohydrauliques – Partie 2 : Essais de perméabilité à l'eau dans un forage à tube ouvert.

NF EN ISO 22282-5 (janvier 2014). Essais géohydrauliques – Partie 5 : Essais d'infiltration (*pour l'infiltromètre ouvert à double-anneau*).

Les comptes-rendus d'essai de perméabilité comprennent également, selon la méthode d'essai mise en œuvre :

- la présentation du système d'alimentation en eau (essais d'infiltration) et la nature de l'eau utilisée,
- la durée de saturation préalable du sol (essais avec saturation préalable),
- les conditions de préparation de la surface d'infiltration,
- les valeurs numériques des grandeurs suivies durant l'essai ainsi que leur représentation graphique,
- les valeurs de coefficients de perméabilité calculés des sols en place.

Encadré n°3– Étude de sols pour l'infiltration des eaux pluviales à la parcelle

Dans le cadre de procédures de demande d'autorisation ou de déclaration au titre du code de l'environnement, le pétitionnaire est susceptible de proposer une gestion des eaux pluviales à la parcelle par infiltration, dans la mesure où les études de sol préalables et leur exploitation auraient conduit à en confirmer la faisabilité (cf. Fiche n°7). Dans ce cas, il appartiendra aux aménageurs des lots de confirmer la conception et le dimensionnement des dispositifs d'infiltration par une étude de sol concernant spécifiquement leur parcelle (à l'instar de ce qui se fait en matière d'assainissement non collectif). Ce point sera à préciser dans le règlement de lotissement / cahier des charges de cession de terrain. Le cas échéant une interface avec les études des dispositifs d'assainissement non collectif sera assurée.

5. Exemple

Un aménageur privé souhaite réaliser un lotissement à usage d'habitation de 3 hectares, d'une trentaine de lots, sur le territoire d'une commune rurale, en continuité avec l'urbanisation existante. Le zonage pluvial de la commune est en cours d'élaboration. La commune a d'ores et déjà indiqué qu'elle n'accepte plus d'eaux pluviales dans ses réseaux d'assainissement, seul le raccordement des eaux usées sera admis (projet en zone d'assainissement collectif). Les eaux pluviales produites par le lotissement seront restituées au milieu naturel. Le rejet d'eaux pluviales est soumis à déclaration. Une étude de sols préalable a été réalisée par un bureau d'études spécialisé, missionné par le lotisseur. Des extraits du rapport d'études de sols fournis dans la pièce n°6 du dossier de déclaration sont présentés et commentés ci-après.

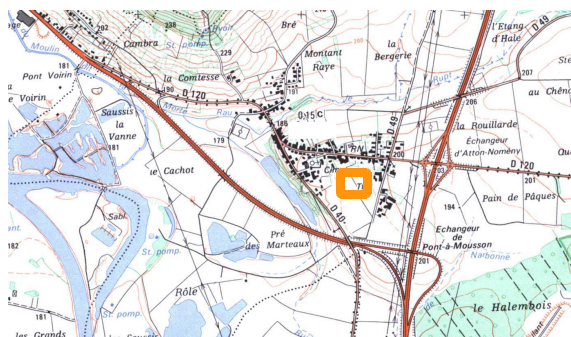


Illustration 11 : Plan de situation (extrait Scan 25 IGN). Le site du projet est relativement plat, très légèrement pentu vers le Nord-Ouest. Il n'apparaît aucun réseau hydrographique naturel à proximité de l'emprise du lotissement projeté.

5.1. Analyse du rapport de phase 1

Le rapport décrit le site et son environnement géologique à partir d'une analyse documentaire et d'une visite de site, comme résumé ci-après.

Contexte géologique

Le village se situe dans la vallée de la Moselle : les alluvions anciennes, essentiellement siliceuses, affleurent sur la majorité du territoire de la commune. Elles reposent sur les marnes à amalathées du Domérien. Celles-ci ont été localement entaillées par le ruisseau de l'Étang, où reposent des alluvions de fond de vallons, également présentes dans la partie basse de la commune dans le lit majeur de la Moselle. Plus localement au nord du village affleurent des calcaires "ocreux" dans le compartiment haut de la faille de direction S SO / N NE. L'emprise du projet de lotissement, surplombant la plaine alluviale, est intéressée par des alluvions anciennes.



Illustration 12 : Extrait de la carte géologique de la France – Secteur de XY : formations affleurantes.

FORMATIONS SUPERFICIELLES

B : Couverture limono-argileuse ou argilo-limoneuse masquant le substrat.

Fz : Alluvions des fonds de vallée et remplissage des fonds de vallons. Matériaux fins, argiles, limons, sables reposant ou non sur des matériaux grossiers, sables, graviers, galets, essentiellement siliceux.

Fy : Alluvions anciennes des bords de Moselle, essentiellement siliceuses. Sables, limons, sables grossiers, galets.

FORMATIONS SECONDAIRES

l6a : Marnes à amalathées (Domérien)

l4c-5 : Calcaires ocreux, bleus à roux, fossilifères (Lotharingien)

Risque de mouvement de terrain

Une partie du territoire communal est située dans une zone d'aléas « *Mouvement de terrain* » délimitée par des cartes d'aléas établies dans le cadre de l'élaboration d'un PPR Mouvement de Terrain par la DDT. Il s'agit essentiellement du relief de butte, très pentue, au Nord-Ouest du village. L'emprise du projet de lotissement n'est pas concernée par les aléas de mouvement de terrains.

Eaux souterraines

La nappe alluviale de la Moselle est exploitée localement pour la production d'eau potable en aval du village. Les puits de prélèvement sont protégés par des périmètres de protection rapprochée et éloignée. Tout rejet direct d'eaux pluviales dans le réseau hydrographique superficiel ou toute infiltration directe d'eaux pluviales dans le périmètre de protection éloigné est interdit. Le projet se situe en dehors de ces périmètres.

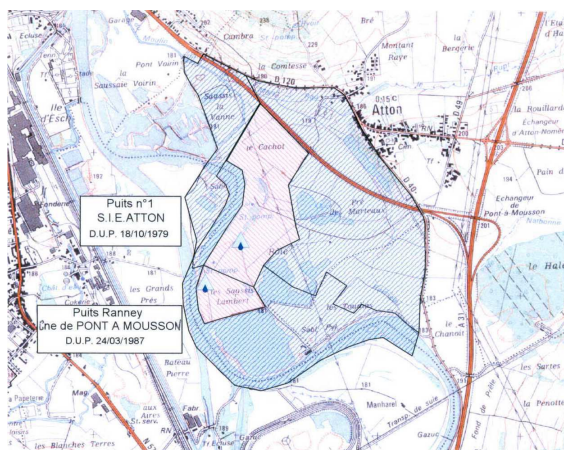


Illustration 13 : Périmètres de protection rapproché et éloigné des puits de prélèvement dans la nappe alluviale en contre-bas du village.

Reconnaissance des formations superficielles

Une dizaine de sondages à la tarière à main, répartis de manière régulière et géoréférencés sur le levé topographique remis par l'aménageur, a été réalisée lors de la visite du site, effectuée en période hivernale. Les sols n'apparaissent pas avoir été remaniés. Les profils pédologiques ont été produits. Les formations rencontrées sont relativement homogènes sur l'emprise du site. Après la couverture végétale, elles sont essentiellement de texture limoneuse, avec néanmoins des variations avec la profondeur, évoluant vers du sable autour de 1 m, à 1,20 m de profondeur. Les perméabilités sont grossièrement estimées entre 10^{-4} et 10^{-6} m/s.

Aucune venue d'eau ou trace d'hydromorphie, également recherchée pour l'identification d'éventuelle zone humide, n'a été observée dans les sondages, effectués jusqu'à une profondeur de 1 à 1,20 m selon les implantations. La nappe alluviale est probablement profonde dans l'emprise du projet qui domine la plaine. Aucun puits ou captage n'a été repéré dans l'emprise ou à proximité du site.

Le rapport conclut par ailleurs que les sols sont meubles et pourront être plus précisément et profondément reconnus par des sondages à la pelle mécanique en phase 2, dans lesquels pourront être effectués des essais d'infiltration (en fosse).

→ Le rapport de phase 1 répond au besoin de caractérisation préalable de l'environnement pédo-géologique, hydrogéologique et géotechnique (mouvement de terrain) du site, intégrant la dimension réglementaire. Des analyses documentaires et des reconnaissances qualitatives des sols superficiels ont été effectuées. Une gamme de conductivités hydrauliques des sols a été estimée, aucune venue d'eaux souterraines n'est observée en période hivernale. L'ensemble des données apparaît cohérent.

Au vu de ces éléments, le lotisseur a prévu de réaliser des bassins d'infiltration des eaux pluviales à faible profondeur au sein des quatre espaces publics du lotissement, en limite de l'urbanisation existante. Les eaux pluviales y seront dirigées par des fossés d'écoulement végétalisés collectant les eaux de toitures et les eaux de voiries. Les principaux objectifs alors assignés à la phase 2 de l'étude de sols ont visé la mesure de la perméabilité des sols et l'absence de nappe jusqu'à une profondeur de 2 à 3 mètres [à cela s'ajoutaient les besoins également d'études de phase 2 pour la pose du réseaux de collecte des eaux usées, conformément à l'annexe 2 du Fascicule 70 – Titre I du CCTG].

5.2. Analyse du rapport de phase 2

Le rapport décrit les reconnaissances effectuées, les conditions de réalisation et les résultats obtenus. Pour répondre aux besoins complémentaires d'étude de faisabilité, de conception et de dimensionnement des bassins d'infiltration des eaux pluviales, des sondages à la pelle mécanique et des essais de perméabilité en fosse ont été effectués aux emplacements prévus par le plan-masse. Il produit en particulier les profils pédologiques établis à partir des sondages effectués jusqu'à une profondeur de 2 à 3 m, ainsi que les PV d'essais de perméabilité en fosse effectués à une profondeur de 1 mètre. Les valeurs de conductivité hydraulique mesurées varient entre 1.10^{-5} et 8.10^{-5} m/s. Aucune problématique spécifique n'est par ailleurs identifiée.

→ Le rapport de phase 2 répond aux besoins en matière d'études d'infiltration des eaux pluviales. En particulier, il permet de confirmer la nature des sols, l'absence de présence d'eau jusqu'à au moins 3 mètres de profondeur et de mesurer des valeurs de perméabilités, cohérentes avec la nature des sols. Les PV d'essais sont produits. En particulier les PV des essais d'infiltration à la fosse mentionnent bien l'ensemble des informations attendues, avec en particulier les courbes d'infiltration. Une analyse de la cohérence de l'ensemble des résultats est effectuée. Le rapport d'études semble confirmer les orientations de gestion des eaux pluviales retenues. Il sera exploité par la maîtrise d'œuvre (cf. Fiche n°7).

6. Foire aux questions (FAQ)

Un dossier loi sur l'eau pour la rubrique 2.1.5.0 peut-il être établi sans avoir réalisé une étude de sols préalable ?

NON. Toute déclaration ou demande d'autorisation au titre de la rubrique 2.1.5.0 Rejets d'eaux pluviales doit s'appuyer sur une étude de sols. Elle permet de caractériser l'état initial du site et de son environnement et de justifier les choix effectués en matière de gestion des eaux pluviales, qu'il soit prévu ou non de l'infiltration. Le cas échéant, une étude de phase 1 peut être suffisante sous réserve de données pré-existantes dont la représentativité et la pertinence sont argumentées au vu du contexte et des caractéristiques du projet : ancienneté des études antérieures, répartition spatiale des reconnaissances du site déjà effectuées, profondeur, etc.

Est-ce que le bureau d'études qui réalise l'étude de sols doit se prononcer sur la faisabilité de l'infiltration des eaux pluviales ?

NON. L'analyse de la faisabilité de l'infiltration des eaux pluviales doit s'appuyer sur les caractéristiques de l'environnement pédo-géologique et hydrogéologique, mais également sur l'évaluation des incidences hydrologiques du projet d'aménagement. Cela nécessite de prendre en compte l'importance et la nature des surfaces drainées, croisées avec les surfaces disponibles pour l'infiltration, les données pluviométriques, les niveaux de services visés pour les pluies faibles, moyennes, etc. (cf. Fiche n°7 : Conception et dimensionnement des ouvrages d'infiltration). Cette analyse requiert des compétences en hydrologie urbaine. Elle relève du maître d'œuvre, de l'équipe-projet, auquel le bureau d'études peut être associé. Le bureau d'études de sols peut néanmoins émettre des recommandations.

Le service de la police de l'eau peut-il s'opposer à un dossier de déclaration prévoyant un rejet d'eaux pluviales par infiltration, sans que des essais de perméabilité in situ aient été réalisés ?

Les conditions d'opposition à déclaration sont fixées par l'article L. 214-3 du Code de l'environnement¹⁵. Le recours à l'opposition à déclaration relève d'une appréciation locale des critères énoncés par cet article.

Rappelons que la mesure *in situ* de la conductivité hydraulique des sols est nécessaire à la détermination des dimensions des ouvrages d'infiltration (volume, surface d'infiltration). Ces données, contribuant à la caractérisation du rejet d'eaux pluviales, sont l'objet de la déclaration et doivent donc être déterminées. Dans des cas très particuliers (très bonne connaissance de la perméabilité des sols aux caractéristiques homogènes, perméabilités très importantes n'étant pas un facteur dimensionnant des ouvrages), le pétitionnaire pourrait motiver la non-réalisation d'essais de perméabilité.

Aussi, il peut être proposé de manière graduée de procéder en premier lieu à une demande de compléments. Si cette demande reste sans réponse, il est possible, selon le contexte et les enjeux, de prescrire et motiver la réalisation des essais requis et la transmission des résultats.

¹⁵ « Dans un délai fixé par décret en Conseil d'Etat, l'autorité administrative peut s'opposer à l'opération projetée s'il apparaît qu'elle est incompatible avec les dispositions du schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux ou du schéma d'aménagement et de gestion des eaux, ou porte aux intérêts mentionnés à l'article L. 211-1 une atteinte d'une gravité telle qu'aucune prescription ne permettrait d'y remédier. »

Le service de la police de l'eau peut-il demander la pose de piézomètres pour le suivi des incidences du projet sur les eaux souterraines ?

OUI. Cela est cohérent avec l'article 12 de l'arrêté du 17 juillet 2009 relatif aux mesures de prévention ou de limitation des introductions de polluants dans les eaux souterraines (contrôle de surveillance des eaux souterraines ou d'un contrôle approprié).

7. Pour en savoir plus...

7.1 Guides

Barraud S. et al. (2009). *L'infiltration en questions - Recommandations pour la faisabilité, la conception et la gestion des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales en milieu urbain.* Programme ANR Ecopluies. [En ligne](#)

Bulletin officiel (2003). *Fascicule 70 du CCTG – Ouvrages d'assainissement : Titre II - Ouvrages de recueil, de stockage et de restitution des eaux pluviales.* [En ligne](#)

ADOPTA, Agence de l'eau Artois-Picardie (2014). *Étude de la perméabilité des sols.* 4 p.

ADOPTA (2013). Actes des journées de sensibilisation « Infiltrer les eaux pluviales ». www.adopta.fr

Cassan M. (2005). *Les essais de perméabilité sur site dans la reconnaissance des sols.* Presses de l'ENPC.

Castany G. (2002). *Principes et méthodes de l'hydrogéologie.* Éditions Dunod.

IFSTTAR, CETE de l'Est, Certu (2011). *Les Structures Alvéolaires Ultra-Légères pour la gestion des eaux pluviales.* Chapitre 3. Éditions IFSTTAR (ex-LCPC)

7.2 Bases de données nationales

- BD de l'IGN : <http://professionnels.ign.fr>
- EauFrance : <http://www.eaufrance.fr/>
- InfoTerre : <http://infoterre.brgm.fr/>
- GIS Sol : <http://www.gissol.fr/index.php>
- Cartorisque : <http://cartorisque.prim.net/>
- Cavités souterraines : <http://www.bdcavite.net/>
- Basias : <http://basias.brgm.fr/>
- Basol : <http://basol.developpement-durable.gouv.fr>

8. Vérifications essentielles

Les vérifications sont adaptées aux enjeux locaux, à l'ampleur et aux spécificités du projet.

8.1 Disponibilité de l'étude de sol

Les études de sols préalables doivent être adaptées aux spécificités des études d'incidences des projets sur le cycle de l'eau. Elles permettent de :

- **caractériser** le site et son environnement,
- **orienter** les choix de gestion des eaux pluviales,
- **concevoir et dimensionner** des ouvrages d'infiltration le cas échéant, ou à défaut **justifier** de l'absence de recours, même partielle, à l'infiltration,
- **anticiper d'éventuelles difficultés** en phase de travaux.

Leurs résultats ont vocation à être annexés dans la pièce n° 6 du dossier loi sur l'eau. Leur absence est susceptible de donner lieu à une demande de complément auprès du pétitionnaire. Le cas échéant, ces reconnaissances peuvent être utilement articulées avec celles nécessaires à la délimitation des zones humides.

8.2 Phasage adapté de l'étude

Les études de sols sont généralement conduites de manière progressive afin de valoriser les potentialités d'infiltration du site tout en protégeant les eaux souterraines le cas échéant, ceci aux différentes étapes du projet d'aménagement : diagnostic, esquisse, avant-projet et projet. Elles peuvent être articulées en deux à trois phases :

- ☑ **phase 1 : diagnostic qualitatif**, basé sur une analyse documentaire, une visite de site et des reconnaissances superficielles des sols,
- ☑ **phase 2 : reconnaissances quantitatives** sur site, basées sur des reconnaissances de sols et mesures de perméabilité ;
- ☑ **phase 3 : diagnostic éventuel d'une problématique** (hydro-)géologique spécifique.

Le pétitionnaire s'appuie sur les résultats de ces différentes phases pour l'élaboration du dossier « loi sur l'eau » : état initial, incidences du projet, mesures correctrices et compensatoires, telles qu'infiltration partielle ou non des eaux pluviales.

8.3 Points de vigilance

Bien que l'ampleur soit adaptée au contexte du site et à la taille du projet, toute étude de sol est amenée à suivre une logique progressive permettant de passer d'une connaissance générale du site à une approche plus locale. Outre le phasage, les points suivants doivent attirer l'attention de l'instructeur de la police de l'eau lors de l'analyse technique des dossiers.

PHASE 1 Analyse documentaire, visite de terrain et reconnaissances superficielles des sols

- **Exhaustivité des thématiques abordées** : hydrographie, pédologie, (hydro) géologie, géotechnique, masses d'eaux souterraines et objectifs d'état, usages.
- **Sources des données utilisées**, représentativité des données issues des études antérieures.
- **Plan d'implantation des reconnaissances superficielles**, date, méthodes, profils pédologiques, photographies.
- **Synthèse sur le contexte géomorphologique, géologique et hydrogéologique**, cohérence des données et analyse.

PHASE 2 Reconnaissance approfondie des sols, eaux souterraines, conductivité hydraulique (perméabilité) [si phase requise]

- **Programme de reconnaissances, stratégie d'échantillonnage** mis en œuvre : nature, nombre, localisation, profondeur ; cohérence avec les conclusions de la phase 1, les orientations de gestion des eaux pluviales retenues dans les études d'esquisse, l'implantation et la forme des aménagements et ouvrages projetés.
- **Cohérence des méthodes et des résultats** : domaine d'application des essais de perméabilité, profondeur, valeurs de conductivité hydraulique mesurées / nature des sols...
- **PV d'essais** (dont courbes d'essais d'infiltration).

PHASE 3 Diagnostic géotechnique spécifique [si phase requise]

Au cas par cas, selon nature de la problématique à traiter.

- Cohérence avec les résultats des phases 1 et 2.

Rédacteurs :

A. Gerolin
(Cerema – Direction territoriale Est),
N. Le Nouveau
(Cerema – Direction technique Territoires et ville).

Relecteurs :

Membres du groupe de travail, DREAL et DDT, S. Barraud (INSA de Lyon), P. Savary (EC. Eau), E. Dumont (Cerema – Direction territoriale Île-de-France).

Diffusion :

interne au ministère de l'écologie et de ses établissements publics

DGALN

Direction Générale de l'Aménagement, du Logement et de la Nature.
Direction de l'eau et de la biodiversité

Tour Séquoia
92 055 La Défense cedex
Tél. : 01 40 81 21 22
Fax : 01 40 81 94 49
www.developpement-durable.gouv.fr

Cerema

Centre d'Études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement
Direction technique Territoires et ville

2 rue Antoine Charial
CS 33927
69426 Lyon Cedex 3
Tél. : 04 72 74 58 00
Fax : 04 72 74 59 00
www.cerema.fr

Série de fiches – instructeurs « Procédures de déclaration et d'autorisation des projets d'aménagement au titre du Code de l'Environnement - Rubrique 2.1.5.0 : Rejets d'eaux pluviales »

Cette série de fiches s'adresse aux instructeurs des services de la police de l'eau et des milieux aquatiques. Elle a pour objet de synthétiser des éléments fondamentaux et de les guider dans l'instruction des déclarations et demandes d'autorisation de projets d'aménagement urbain au titre du Code de l'Environnement : Rubrique 2.1.5.0 – Rejet d'eaux pluviales. Elle complète les « repères » diffusés en juin 2011 et réédités en novembre 2014. Ces documents ne traitent pas des projets d'infrastructures linéaires de transports qui ont fait l'objet de guides techniques édités par le SETRA. Sa rédaction est coordonnée par B. Tardivo (DEB) et N. Le Nouveau (Cerema – Dtec TV) avec l'appui d'un groupe de travail composé de : P. Agenet (AELB), N. Aires (AESN), J.-M. Bastard (DDTM 76), E. Berthier (Cerema – Dter IdF), P. Bonneau (AEAP), J. Di Mare (AEAG), A. Druelles (DEB), V. Ferstler (DEB), A. Gerolin (Cerema – Dter Est), A. Heuze (AERM), M. Honoré (DDTM 76), X. Pestel (DEB) et K. Pojer (AERMC).

