

**M2 Pro, parcours Géologie-Géotechnique
(Année universitaire 2012-2013)**

RAPPORT DE STAGE EN MILIEU PROFESSIONNEL :

**Evaluation d'indicateurs texturaux et hydrauliques des sols pour juger de
la faisabilité de l'ANC.**

Natacha Vidal



REMERCIEMENT :

Je tiens tout d'abord à remercier Catherine Boutin Ingénieur en traitement des eaux usées à IRSTEA de Lyon de m'avoir permis de réaliser mon stage par le biais d'une convention avec le Leesu, mais également Bruno Tassin directeur du Leesu de m'avoir accueillie au sein de son unité.

Je souhaite remercier tout particulièrement Olivier Fouché Maître de conférence au CNAM et chercheur au Leesu, pour m'avoir permis de travailler sur le projet ANCRES. Je le remercie pour son honnêteté, son encadrement, les échanges fructueux d'opinion, ainsi que l'ensemble de ses suggestions et corrections et l'intérêt porté à mon travail.

Je remercie Bezhas Nasri doctorant au Leesu pour sa disponibilité, les réponses à mes questions, les conseils qu'il m'a fait partager.

Je les remercie tous les deux pour leur bonne humeur, et leurs qualités humaines.

Je remercie Anne Jost pour les précieux conseils qu'elle m'a donnés à la relecture de ma première version du rapport.

Je voudrais maintenant adresser ma reconnaissance à Mohamed saad, ingénieur de recherche au leesu et Guillaume Faucheux responsable de laboratoire du Cnam pour le temps qu'ils m'ont consacré, leurs conseils et de m'avoir permis de réaliser tous mes essais.

Je remercie chaleureusement Rosa, Julien, Abdel, Yacine, avec qui j'ai partagé le bureau pendant ces quelques mois, pour leur bonne humeur et leur accueil. Mais également Martin Seidl et Fella Arfif pour les informations qu'ils ont pu m'apporter sur l'aspect chimie du projet.

J'ai une pensée affectueuse pour l'ensemble des personnes rencontrées au laboratoire du Leesu pour les discussions et moments de détente.

Enfin, mes remerciements se dirigent naturellement à tous ceux qui m'ont aidée de proche ou de loin à aller au bout de mes études notamment les professeurs de Paris VI et du CNAM.

RÉSUMÉ :	13
ABSTRACT :	13
INTRODUCTION	15
1) Présentation de l'organisme d'accueil	17
2) Étude bibliographique	17
2.1) Les Filières d'ANC	17
2.2.1) <i>Filières utilisant le sol en place</i>	18
2.1.2) <i>Filière n'utilisant pas le sol en place :</i>	18
2.2) Législation autour de l'assainissement non collectif	19
2.3) Le projet Ancres	20
3) Étude expérimentale	23
3.1) Méthodologie :	23
3.1.1) <i>Prélèvement des échantillons</i>	23
3.1.2) <i>Description du profil vertical du sol</i>	24
3.1.3) <i>Mesure de la conductivité hydraulique in-situ</i>	24
3.2.1) <i>Détermination d'indicateurs physico-chimique pour évaluer la faisabilité d'un ANC</i>	27
4) valorisation des indicateurs ANCRES et des données existantes par la mise en place d'un système de notation.	31
4.1) Notation des indicateurs ANCRES	31
4.1.1) <i>prise en compte de la conductivité hydraulique Ks</i>	31
4.1.2) <i>épaisseur de la ZNS (zone non saturée)</i>	31
4.1.3) <i>Note d'Hydromorphie</i>	33
4.1.4) <i>note de stabilité structurale :</i>	33
4.1.5) <i>note des processus physico-chimique déterminants pour la fonction d'épuration (PCE) (adsorption/dégradation/minéralisation)</i>	33
4.2 °) Système de notation (N) propre à chaque fonction du sol	34
4.3) Classe d'aptitude du sol en fonction de la notation obtenue	34
5) Caractérisation des sols sur deux zones d'étude	36
5.1) Caractérisation de la FEPP	36
5.1.1) <i>présentation du site</i>	36
5.1.2) <i>localisation des prélèvements d'échantillon.</i>	38
5.1.3) <i>Résultats</i>	39
5.2) Caractérisation des sols de la chambre de l'agriculture du 77	39
5.2.1) <i>Présentation de la zone d'étude</i>	39
5.2.2) <i>Résultats et analyse :</i>	41
5.3) Présentation des sites ANC de Chartrettes	42

5.3.1) <i>présentation de la zone d'étude</i>	42
5.3.2) localisation et présentation des sites ANC.....	43
5.3.3) résultats.....	46
6) Analyse et interprétation des résultats des sols de la FEPPF et des sites ANC de la commune de Chartrettes	47
6.1) Utilisation du système de notation pour évaluer l'aptitude des sols pour les fonctions en ANC	47
6.1.1) <i>Site ANC de la commune de Chartrettes</i>	47
6.1.2) <i>sol de la FEPPF dans l'Yonne</i>	49
6.2) Utilisation des Fonctions de pédotransfert pour prédire la conductivité hydraulique à saturation et comparaison avec les mesures effectuées in situ.	50
6.2.1) <i>Analyse des KS-Fpts de la catégorie 1</i>	50
6.2.2) <i>Analyse des Ks-Fpts de la catégorie 2</i>	51
CONCLUSION :	55

Table des Figures

Figure 1 : Dispositif d'assainissement non collectif.	17
Figure 2 : Schéma de la filière tranchée et lit d'épandage.	18
Figure 3 : Schéma de la filière FSnd à gauche et Fs à droite.	18
Figure 4 : Schéma de la filière terre d'infiltration.	18
Figure 5 : schéma des distances réglementaires entre la filière d'assainissement non collectif et les objets présents sur la parcelle.	20
Figure 6 : Fonction/usage du sol en ANC	21
Figure 7 : Relation entre la texture du sol et la conductivité hydraulique du sol [DX08]	25
Figure 8 : schéma de la formation du bulbe saturé au voisinage du forage.	26
Figure 9 : Diagramme de texture USDA.	28
Figure 10 : Cette figure présente les degrés d'hydromorphie d'un profil de sol.	32
Figure 11 : carte géologique de l'Yonne (d'après S. Büttner : http://cem.revues.org) et carte de la zone FEPF à droite.	36
Figure 12 : Extrait de la carte géologique du BRGM et de la carte IGN d'Auxerre au 1/50000.	38
Figure 13 : Extrait de la carte géologique du BRGM et de la carte IGN d'Auxerre au 1/50000	39
Figure 14 : Extrait de la carte géologique du BRGM et de la carte IGN d'Auxerre au 1/50000	39
Figure 15 : Extrait de la carte géologique du BRGM et de la carte IGN d'Auxerre au 1/50000	39
Figure 16 : carte géologique du BRGM au 1/250000 de la zone étudiée par la CA77.	40
Figure 17 : Carte géologique et légende de Melun au 1/50000 (BRGM)	43
Figure 18 : Carte IGN de Melun au 1/25000 et Carte géologique du BRGM de Melun au 1/50000	43
Figure 19 : plan d'implantation des sondages et prélèvement sur le site ANC 1	44
Figure 20 : Carte IGN de Melun au 1/25000 et Carte géologique du BRGM de Melun au 1/50000	44
Figure 21 : plan d'implantation des sondages et prélèvement sur le site ANC 2.	45
Figure 22 : Carte IGN de Melun au 1/25000 et Carte géologique du BRGM de Melun au 1/50000.	45
Figure 23 : plan d'implantation des sondages et prélèvement sur le site ANC 3.	46
Figure 24 : carte de remontée des nappes (BRGM).	47
Figure 25 : Dipositif d'un filtre à sable en pente drainé vers une tranchée de dissipation avec évacuation dans l'horizon superficielle (Limon des plateaux).	48
Figure 26 : carte de remontée des nappes BRGM, montre que les sites (en rouge) sont situés en zone à sensibilité très faible à inexistante.	49
Figure 27 : graphique de comparaison entre la Ksm et le Ksp pour les fonctions KS-FPTs de Cosby, Adhikary et Ferrer et Julia.	50

Table des tableaux

Tableau 1 : Les équations de la relation $CEC = f(VBM)$ en fonction de la classe texturale	29
Tableau 2 : Classes d'aptitude pour l'épuration secondaire	34
Tableau 3 : Classes d'aptitude pour l'évacuation superficielle	35
Tableau 4 : Classes d'aptitude pour l'évacuation profonde	35
Tableau 5 : Tableau des notes obtenues pour chaque fonction du sol ainsi que les filières réalisables et non réalisables pour les sites 77 ME ANC 21, 22,23.	47
Tableau 6 : Ce tableau donne les notes obtenues pour chaque fonction du sol ainsi que les filières réalisables et non réalisables pour les sites 89 ME ANC 16, 16, 17, 18, 19.	49
Tableau 7 : valeurs du rapport b (Ksm/Ksp) pour les trois Ks-FPTs pour les prélèvements effectués dans la FEPF et Chartrette.	51
Tableau 8 : Tableau des b pour les couples Ks-FPTs-BD-FPTs en rouge surligné, les b « sélectionnés ».	51

Table des Photos

Photo 1 : Sondage et prélèvement de sol à la tarière thermique	23
Photo 2 : essai de conductivité hydraulique au perméamètre de Guelph.	26
Photo 3 : photo d'un affleurement de la craie du campanien dans une ancienne carrière (A), affleurement des sables du Sparnacien (B), Sable de la Puisaye excavé lors de travaux à Sauilly (C).	37
Photo 4 : Affleurement d'argiles à plicatules au lieu dit « les tuileries »(B), Argiles panachées observées sur le bord de la route(A), échantillon de marnes et calcaire lumachelilique à ostrea virgula (C).	37
Photo 5 : affleurement du calcaire du Barroi (A), photo d'un affleurement de colluvion de pente issue du calcaire du Barrois reposant sur du J8	38
Photo 11 : Photo du dispositif en court de construction.	43
photo 12 : Sondage réalisé au marteau piqueur, il est possible de distinguer 2 couches, de la terre végétale et du limon.	44
Photo 13 : Photo du site ANC, on observe sur les deux photos que nous sommes ici en présence d'un terrain très pentu.	45
photo 14 : Sondage réalisé au marteau piqueur, il est possible de distinguer 3 couches, de la terre végétale, du limon des plateaux et des marnes blanches.	45
Photo 15 : Photo du site à droite, ici aussi le terrain est pentu, à gauche regard des eaux prétraitées sorties de la fosse septique.	46
photo 16 : sondage réalisé au marteau piqueur, il est possible d'observer 2 couches, un sol noir riche en Mo , et un sol plus argileux gris à beige.	46

Liste des abréviations :

ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie.

ACA : Activité argileuse

Aeuti = Affinage des eaux usées traitées infiltrées.

ANC : Assainissement non collectif

BD-FPTs : fonction de pédotransfert utilisée pour prédire la densité apparente du sol.

CA77 : chambre de l'agriculture du 77 (Seine et Marne)

CAC : Teneur en carbonate de calcium déterminé par la méthode du calcimètre.

CAV : Teneur en carbonate déterminé par la méthode volumétrique.

CEC : Capacité d'échange cationique

CO : Carbone organique déterminé par la méthode d'Anne.

DRH : Degrés d'hydromorphie.

Epeuti: Évacuation profonde des eaux usées traitées infiltrées

ESeuti: Évacuation superficielle des eaux usées traitées infiltrées

FEPF: Fédération des eaux Puisaye-Forterre

FSd: Filtre à sable drainé

FSnd: Filtre à sable non drainé

GESSOL : programme initié en 1998 par le ministère chargé de l'écologie : fonction environnementale et **gestion** du patrimoine **sol**.

HC : Hauteur capillaire

IPL : indice de plasticité

KG : Conductivité hydraulique à saturation de Guelph.

KP : conductivité hydraulique à saturation de Porchet.

Ks m : conductivité hydraulique à saturation mesurée au perméamètre de Guelph.

Ksp : conductivité hydraulique à saturation prédite à partir des fonctions de pédotransfert.

KS-FPTs : fonction de pédotransfert utilisée pour prédire la conductivité hydraulique à saturation.

MEEDDM : Ministère de l'Écologie, de L'Énergie et du développement durable et de la mer.

MOC : Matière organique déterminée par la méthode de calcination.

SST : Stabilité structurale

STA : Sensibilité au tassement

Teu: Traitement des eaux usées prétraitées (ou épuration secondaire)

THR : Taux d'humidité résiduelle

VBM : Surface spécifique déterminée à partir de la valeur au bleu de méthylène

ZNS : Zone non saturée

RÉSUMÉ :

Ce stage de fin d'études s'inscrit dans le cadre du projet ANCRES (Assainissement Non Collectif Rétention et Épuration par les Sols). Il vise à évaluer des indicateurs texturaux et hydrauliques des sols pour juger de la faisabilité de l'ANC afin de fournir des outils au gestionnaire et aux utilisateurs.

Le but de ce stage a donc été de mettre au point des outils et méthodes pour intégrer des indicateurs préalablement définis par Bezhad Nasri pour juger de la faisabilité d'une filière d'assainissement non collectif suivant la fonction du sol utilisé (Évacuation et Épuration).

La démarche du stage a donc été de réaliser des essais de perméabilité in situ et en laboratoire sur des échantillons prélevés dans le département de l'Yonne et de Seine-et-Marne. Ceci afin de déterminer les indicateurs pour chaque sol. Cette démarche est également basée sur l'observation sur site du profil de sol et toute information nécessaire pour la mise en place d'un dispositif d'ANC. Des recherches bibliographiques et les résultats obtenus ont permis de mettre en place un système de notation intégrant les indicateurs et permettant d'obtenir plusieurs classes d'aptitude pour les fonctions du sol utilisées en ANC. Ce système de notation fournit une aide à la prise de décision pour le choix de la filière ANC. Nous avons aussi proposé une méthodologie de calibration de fonction de pédotransfert permettant d'estimer la conductivité hydraulique à saturation du sol à partir de certains indicateurs. Cette calibration se fait en comparant les mesures de conductivité effectuées sur site et les conductivités hydrauliques prédites à partir des fonctions de pédotransfert. L'objectif à long terme serait de créer une base de données incluant un certain nombre de paramètres conductivité hydraulique mesurés, résultats de laboratoire, fonction de pédotransfert calibrée. Cet outil fournit une aide à la décision pour les gestionnaires des zones étudiées en terme de zonage pour l'ANC. Les données recueillies durant le projet ANCRES et mon stage seront également intégrées dans un SIG qui fournit une aide à la décision pour les usagers afin qu'ils aient connaissance des caractéristiques de leur terrain et de la possibilité de réaliser un ANC chez eux.

ABSTRACT :

This internship of end of studies is forms part of the project ANCRES (non collective cleansing system retention and purification by Soils). It aims to evaluate the textural and hydraulic soil indicators to assess the feasibility of the non-collective cleaning systems in order to provide tools to the manager and users.

The purpose of this internship was therefore to develop tools and methods to integrate different indicators previously defined by Bezhad Nasri to judge the feasibility of a individual sewerage sector according to the different functions of the soil used (Evacuation and purification).

The approach of the internship therefore been to achieve, permeability tests in situ and in the laboratory on samples collected in the department of Yonne and Seine-et-Marne. This in order to determine the indicators for each soil. This approach is also based on on-site observation of the soil profile and all information necessary for the implementation of a non-collective cleansing system

Bibliographical research and the results obtained are allowed to set up a scoring system incorporating the various indicators in order to achieve fitness classes for soil functions used in non-collective cleansing system. This scoring system provides aid to the decision in choosing of non-collective cleansing system.

We also proposed a methodology for calibration Pedotransfer function to estimate the saturated hydraulic conductivity of soil from some indicators. This calibration is done by comparing the conductivity measurements performed on site and the hydraulic conductivities predicted from pedotransfer functions. The long term objective would be to create a database including a number of hydraulic conductivity measured parameter, lab results, calibrated Pedotransfer function. This tool provides a decision support for managers in terms of zoning for the non-collective cleansing system. The various data collected during the project anchors and my internship will also be integrated into a GIS, he provides decision support for users so that he has knowledge of the characteristics of their land and the possibility of achieving a non-collective cleansing system in them.

INTRODUCTION

En 1998, dans le but de développer le cadre juridique et les connaissances sur l'écosystème sol encore peu étudié, le Ministère en charge de l'écologie et l'ADEME ont lancé le programme GESSOL (Fonctions environnementales des Sols et Gestion du Patrimoine Sol). Celui-ci a pour objectif de fournir aux décideurs des outils et des indicateurs pour, évaluer, surveiller, gérer et améliorer la qualité des sols, anticipant ainsi la proposition de la Commission européenne d'une directive-cadre sur les sols.

Entre 1998 et 2008, les programmes GESSOL 1 et GESSOL 2 sont mis en place par le MEDDM et dans ce cadre, 23 projets ont été menés et ont contribué à la caractérisation des fonctions environnementales des sols, à la mise en œuvre de système d'observation et aux débats autour de la stratégie thématique de l'Union européenne en faveur de la protection du sol.

À partir de 2008, GESSOL 3 est mis en place. Ce programme a pour but, d'aider les politiques publiques à mettre en place une gestion durable et patrimoniale des sols, de sensibiliser les acteurs, d'évaluer les fonctions du sol et les services rendus à la société et d'améliorer, restaurer les sols pour une ou plusieurs de leurs fonctions. Le projet ANCRES rentre dans le cadre de ce programme. Son objectif est de mettre en place un indicateur¹ intégratif pour la gestion du potentiel épurateur des sols soumis à l'infiltration en assainissement non collectif. Le But est d'étudier les fonctions rétention –épuration du sol dans une zone d'ANC. Ceci dans le but de pouvoir évaluer les capacités d'un sol soumis à un usage ANC.

Pour répondre à cet objectif, le projet s'est centré sur le choix d'indicateurs, physique, chimique, microbiologique caractéristiques d'un sol par des mesures effectuées in situ et en laboratoire. L'objectif est de rechercher des indicateurs pertinents et simples à mettre en œuvre par les gestionnaires comme les SPANC.

Mon rapport de stage portera donc sur l'évaluation d'indicateurs physique (texturaux et hydrauliques) et chimique (MO, CaCO₃) des sols pour juger de la faisabilité de l'ANC (assainissement non collectif). Passant par la réalisation d'essai en laboratoire et de conductivité hydraulique à saturation sur site au perméamètre de Guelph. Ceci pour les deux fonctions du sol utilisé en ANC :

- Épuration
- Évacuation

Nous chercherons donc à savoir dans quelle mesure les indicateurs mis en place permettent d'évaluer la capacité du sol à recevoir un dispositif ANC pour ces fonctions. Comment des fonctions de pédotransfert peuvent être utilisées pour prédire la conductivité hydraulique ? Et de quelle manière procéder à une valorisation des données acquises tout au long du projet et du stage par un système de notation ?

La présentation de mon travail commencera par une étude bibliographie passant par la synthèse de certains travaux réalisés dans le cadre du projet Ancres. Ces travaux sont pour la plupart des outils d'observation, le but est d'évaluer leur facilité de mise en place, leur utilité et leur pertinence pour définir les indicateurs d'aptitude à l'assainissement non collectif.

La méthodologie consiste l'élaboration d'un système de notation sera mise en place pour évaluer la capacité d'un sol pour les fonctions du sol utilisées en ANC.

L'évaluation des indicateurs ANC est basée sur plusieurs campagnes d'échantillonnage, d'essai au perméamètre de Guelph et d'essais en laboratoire. La première campagne d'échantillonnage est effectuée dans la FEPF dans le département de l'Yonne qui cherche à avoir la plus grande diversité de sol. La deuxième campagne d'échantillonnage à Chartrette en Seine-et-Marne chez des particuliers possédant ou devant mettre en place un dispositif d'assainissement non collectif.

Une fois les sites présentés et les résultats donnés, le système de notation sera testé avec les résultats obtenus pour chaque échantillon. La capacité de chaque sol sera évaluée et un ou plusieurs dispositifs ANC pouvant être mis en place seront proposés.

Des échantillons de sols fournis par la chambre de l'agriculture de Seine-et-Marne nous permettent d'aborder une autre problématique : celle de la compatibilité des essais réalisés par plusieurs organismes.

¹ La notion d'indicateur est définie dans le glossaire.

Nous comparerons ainsi certains essais réalisés par des protocoles dans le cadre du projet ANCREs et la CA77.

Les essais réalisés au perméamètre de Guelph nous permettent d'obtenir une conductivité hydraulique à saturation pour plusieurs sites (K_{Sm}). Cette conductivité hydraulique peut également être prédite (K_{Sp}) à partir de fonction de pédotransfert. La comparaison entre la K_{Sm} et la K_{Sp} nous permettra d'évaluer quelles fonctions de pédotransfert prédisent correctement la conductivité hydraulique à saturation pour chaque sol et de savoir dans quelle mesure cet outil pourrait être utilisé dans le cas où une mesure de perméabilité in situ ne serait pas envisageable.

1) Présentation de l'organisme d'accueil

Le Laboratoire Eau, Environnement et Systèmes Urbains (LEESU), est un laboratoire commun de l'École des Ponts ParisTech, l'Université Paris-Est Créteil, l'Université Paris-Est Marne la vallée et AgroParisTech. Le Lessu est constitué de deux équipes : Génie Urbain et l'Eau dans la Ville.

L'eau dans la ville travail sur plusieurs thématiques de Recherche :

- Hydro-Météorologie et Complexité (HM&Co)
- Sources et flux de contaminants biogéochimiques sur les bassins versants urbains
- Fonctionnement des milieux récepteurs et impact urbain
- Acteurs et processus décisionnels dans la gestion des eaux urbaines
- Axe transversal multi-hydro
- Axe transversal : échantillonneurs passifs

Les recherches développées par l'équipe « génie urbain » du LEESU se situent à l'interface des domaines faisant appel aux sciences de l'ingénieur et aux sciences de l'action au service de la ville durable. Elles visent à mettre en place des approches scientifiques d'aide à la décision au service des collectivités territoriales et de leurs acteurs.

La Chaire de géotechnique du Conservatoire national des arts et métier m'a également accueils dans son laboratoire d'étude de sol pour pouvoir réaliser mes essais.

2) Étude bibliographique

2.1) Les Filières d'ANC²

L'assainissement non collectif est un dispositif assurant la collecte, le traitement et l'élimination des eaux usées domestiques de manière autonome à proximité de l'habitation. La figure 1 présente le schéma de principe d'un ANC.

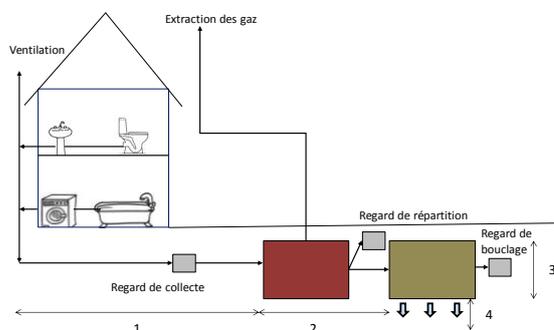


Figure 1 : Dispositif d'assainissement non collectif.

Le dispositif d'assainissement est composé de 4 parties principales (figure 1): (1) La collecte qui correspond à l'ensemble des ouvrages collectant et transportant les eaux usées de la sortie de l'habitation au prétraitement. (2) Le prétraitement qui correspond au dispositif de dégradation de 40 à 50 % de la pollution par rétention des matières solides et flottantes (fosse toute eau, bac dégraisseur, fosse septique) (3) Le traitement qui correspond aux ouvrages permettant la dégradation du reste de la pollution par action des micro-organismes situés dans le sol existant ou dans des matériaux rapportés. (4) l'évacuation des eaux usées traitées soit par infiltration dans le sol, soit par rejet vers le milieu hydraulique superficiel. Les systèmes de ventilation permettent l'entrée d'air et l'évacuation des gaz de fermentation du prétraitement. Les regards permettent de contrôler le bon fonctionnement des installations. Il existe

² L'ensemble des informations sont issus des références bibliographiques [BR08] et [SIARV06]

plusieurs types de dispositifs utilisés pour le traitement soit le sol en place soit du sol reconstitué qui suit le schéma suivant : Le choix du dispositif dépend essentiellement de la vitesse d'infiltration³.

2.2.1) Filières utilisant le sol en place⁴

- **Les tranchées et lit d'épandage (figure 2):**

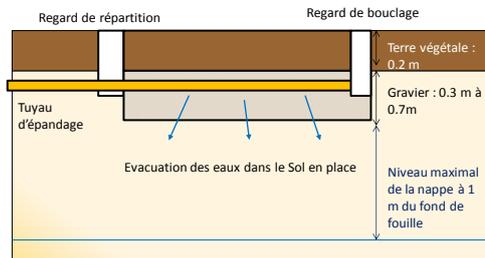


Figure 2 : Schéma de la filière tranchée et lit d'épandage.

Elles sont utilisées lorsque le sol est perméable (K_p entre 6 et 50 mm/h) et qu'il est présent en quantité suffisante (1m60). C'est le sol lui-même qui assure l'épuration des eaux usées pré traitée, il doit être sain et homogène. Une couche de gravier entoure les tuyaux de drainage pour éviter leur colmatage avec le temps. Le niveau maximal de la nappe doit être situé au minimum à 1 m du fond de fouille de la tranchée ou du lit. Le dimensionnement dépend de la perméabilité K . Le lit d'épandage est utilisé dans le cas où le sol est sableux et qu'il n'est pas possible de réaliser de tranchée ; la couche de gravier est alors disposée sur toute la surface d'épandage.

2.1.2) Filière n'utilisant pas le sol en place :

- **Le filtre à sable vertical drainé FSd et non drainé FSnd (figure 3)**

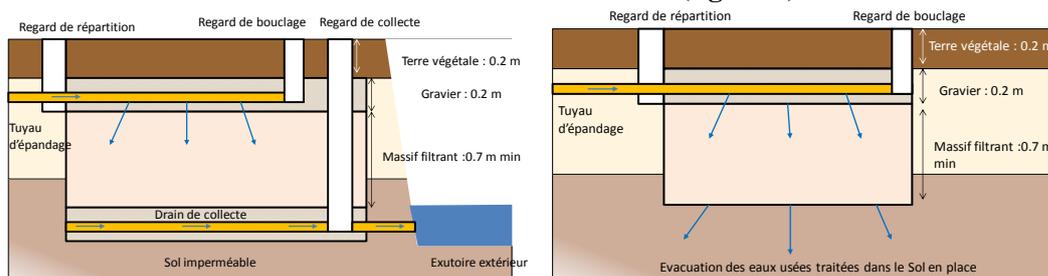


Figure 3 : Schéma de la filière FSnd à gauche et FS à droite.

Le FSnd (à gauche) est choisi quand le sol en place est de faible épaisseur et que les capacités d'infiltration sont suffisantes. Le filtre est constitué d'une couche de sable de 0,7 m abritant la biomasse bactérienne qui assure la dépollution des eaux. Les eaux usées traitées seront ensuite évacuées dans le sol en place. Le dimensionnement de l'ouvrage dépend de la taille du logement. Le FSd choisit quand les capacités d'infiltration du sol en place ne sont pas suffisantes pour permettre l'évacuation des eaux en profondeur. Les eaux usées traitées par le filtre à sable sont rejetées dans un exutoire extérieur ou une fosse toute eau. Ici aussi le niveau maximum de la nappe ne doit pas toucher le fond de fouille.

- **Terre d'infiltration (figure 4)**

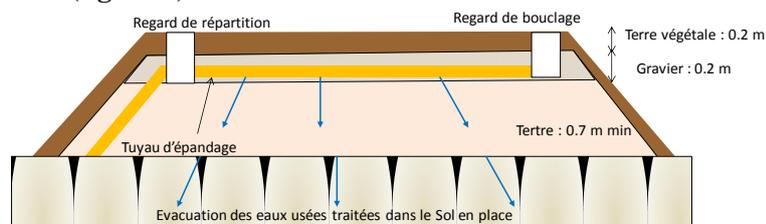


Figure 4 : Schéma de la filière terre d'infiltration.

³ [XP DTU 64-1-2] Dans le cas où la vitesse d'infiltration de 15 mm/heure n'est pas atteinte (Art 6 de l'arrêté du 7 septembre), un dispositif d'épandage par le sol en place n'est pas autorisé. Au-dessus de ce seuil, l'épandage est autorisé sans aucune obligation de résultat sur l'abattement de la pollution.

⁴ Les dispositifs présentés figure 1, 2, 3, 4 sont en coupe longitudinale.

Cette filière est mise en place quand la nappe est située à faible profondeur. Un massif sableux assure le traitement des eaux usées et les effluents traités sont directement infiltrés dans le sol en place. Le dimensionnement dépend de la taille du logement.

- **Massif de zéolite (ou filtre compact)**

Ce type de filière est préconisée en présence d'usages sensibles à proximité du rejet (baignade...) et en cas d'absence de surface parcellaire. Le massif de zéolite fonctionne comme un filtre à sable (figure3). Les eaux usées traitées sont évacuées par un réseau de drainage dans le milieu superficiel ou dans le sous-sol. Le dimensionnement du filtre est fixe.

Le choix de la filière d'après le DTU 64.1 doit prendre en compte les critères suivants :

- L'aptitude du sol à l'infiltration
- La perméabilité du sol
- Le niveau et la nature de la couche rocheuse
- Le niveau de remontée maximale de la nappe
- L'environnement du site : la pente du terrain, l'existence d'exutoires superficiels, les installations environnantes (puits, habitations voisines, captage d'eau potable), la végétation, les servitudes diverses (lieu de baignade...)

Il est important de souligner que le DTU 64-1 ne donne aucune indication en termes de conductivité hydraulique en terme d'évacuation des eaux traitées à 120 cm de profondeur (tranchée et lit d'épandage), 160 cm (filtre à sable non drainé) et 30 cm (cas des tertres d'infiltration et massif de zéolite).

2.2) Législation autour de l'assainissement non collectif⁵

La loi sur l'eau de 1992, révisée en décembre 2006 reconnaît l'assainissement non collectif comme un système épuratoire à part entière. L'assainissement non collectif donne ainsi une responsabilité technique transférée au propriétaire. La réglementation nationale et européenne ⁶fixe clairement les responsabilités de chacun tout au long de la vie de l'ouvrage. Que ce soit celle du propriétaire, celle de l'élu et celle de l'éventuel bailleur.

Ainsi, l'échéance à laquelle les communes devront avoir réalisé leur mission de contrôle des installations d'assainissement individuel et la mise en œuvre des SPANC (service public d'assainissement non collectif) était fixée au 31 décembre 2012 par l'article 54 de la loi sur l'eau et les milieux aquatiques de 2006. Les SPANC sont ainsi chargés de vérifier toutes les installations afin de valider leur conformité.

La mise aux normes des installations prend en compte à la fois le dimensionnement du système, le choix de l'installation.

La délimitation des zones d'assainissement collectif et non collectif résulte du schéma directeur d'assainissement et est engagée par chaque municipalité, sous le contrôle de l'agence de l'eau et des conseils régionaux [CGY011].Le propriétaire doit quand à lui, équiper sa résidence d'une installation d'assainissement non collectif. Maintenir son installation en bon état de fonctionnement, mais doit également s'acquitter de la redevance d'assainissement relative au service (SPANC).

Le DTU 64.1 de mars 2007 (P16-603) a pour objet de préciser les règles d'art relatives à certains ouvrages de traitement des eaux usées domestiques de maisons d'habitations individuelles jusqu'à 10 pièces principales telles que définies dans la réglementation en vigueur (arrêté du 6 mai 1996 modifié). La mise aux normes des installations prend en compte à la fois le dimensionnement du système, le choix de l'installation (fonction de la perméabilité du sol). Les distances minimales légales présentées sur la figure 1 sont fixées par le DTU 64.1 de mars 2007.

⁵ L'ensemble des informations sont issus de la référence bibliographique [BR08] et [SIARV06]

⁶ L'ensemble des références des textes réglementaires sont données en annexe 1.

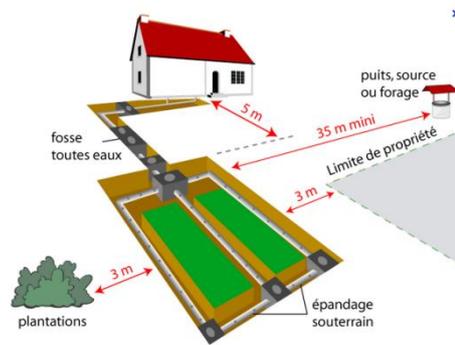


Figure 5 : schéma des distances règlementaires entre la filière d'assainissement non collectif et les objets présents sur la parcelle.

L'implantation de la filière doit se trouver hors zone de circulation et de stationnement de tous véhicules et charges lourdes, hors culture et plantation, l'équipement doit être accessible pour l'entretien.

L'art 6 de l'arrêté fixe les normes prescrites aux organismes agréés pour la validation des nouveaux dispositifs d'ANC et impose un contrôle des effluents sur seulement 3 paramètres chimiques DCO, DBO5 et MES.

2.3) Le projet Ancres

- **Problématique et objectif**

L'objectif du projet Ancres est de mettre en place un indicateur intégratif pour la gestion du potentiel épurateur des sols soumis à l'infiltration en assainissement non collectif. Le but est d'étudier les fonctions rétention –épuration du sol dans une zone d'ANC. Ceci afin d'évaluer les capacités d'un sol soumis à un usage ANC [OFP10] [OFPI10].

Pour répondre à cet objectif, le projet s'est centré sur le choix d'indicateurs physique, chimique, microbiologique caractéristique d'un sol par des mesures effectuées in situ et en laboratoire.

Le sol est donc l'objet central de ce projet. Il s'agit en effet d'un milieu complexe vivant centre de nombreux échanges. Il est constitué de 3 phases ([AM06][BJ03][DX08][SH76] :

- Phase solide : elle correspond à l'ensemble des éléments minéraux et organiques de taille diverse qui laissent entre eux des vides qui contiennent les deux autres phases.
- Phase gazeuse : elle correspond très souvent à l'air contenu dans le sol, cependant, sa composition peut être très variable dans l'espace et dans le temps, car dépendante de la profondeur et de l'activité biologique.
- Phase liquide : composée principalement d'eau incluant l'ensemble des Substances qui y sont dissoutes ou qui sont en suspension.

Le sol est donc le siège de mécanismes physico-chimique (hydrolyse, oxydation...) lié à la solution du sol, à la matière minérale et aux mécanismes biologiques liés à la matière organique et au comportement microbien.

La dégradation et la minéralisation des éléments circulant dans le sol peuvent donc être à la fois physico-chimiques et biologiques. La capacité d'adsorption des éléments par le sol est également essentielle à sa fonction d'épuration (figure 6). Le sol est donc un milieu support et récepteur (rétention et évacuation des eaux) qui possède des propriétés épuratrices (décomposition et « assimilation » de la matière organique).

Les filières utilisées en assainissement non collectif permettent ainsi d'aboutir à 3 sous fonctions/usage principales du sol adapté à partir des fonctions d'épuration et d'évacuation (figure 6):

- Épuration secondaire (Tranchée et lit d'épandage) et affinage (filtre à sable non drainé)
- Évacuation en profondeur (filtre à sable non drainé (1m60), épandage (1m20))
- Évacuation en surface (tertre (30 cm))

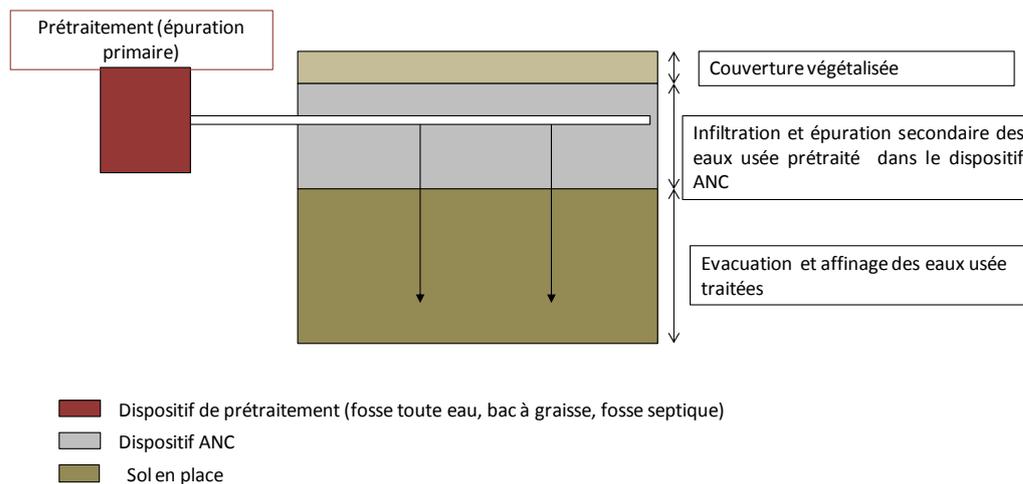


Figure 6 : Fonction/usage du sol en ANC

Le cas d'une évacuation superficielle dans le sol en place des eaux usées traitées (tertre d'infiltration, massif filtrant drainé) peut être considéré comme une 4e fonction.

Il est essentiel de noter que le degré d'utilisation de ces fonctions dépendra de l'usage que l'on en fait. Par exemple dans le cas du traitement, l'écoulement devra être moins important que pour la fonction d'évacuation.

Les dispositifs d'assainissement non collectif envoient les eaux usées dans le sol après prétraitement. Se pose alors la problématique du devenir des polluants dans les filières d'assainissement non collectif. Actuellement, les techniques utilisées en ANC sont considérées comme suffisantes pour détruire les polluants qui ne pourraient être retenus ou dégradés par le sol. Cependant, cette problématique est peu abordée dans la littérature et particulièrement pour les polluants émergents (surfactants, biocides, médicaments).

En effet, après introduction dans le sol, les molécules peuvent être :

- transférées vers les niveaux inférieurs
- captées dans l'eau de rétention
- adsorbées sur la matrice ;
- dégradées en fonction de sa structure.

Dans le cas où certaines molécules seraient relarguées dans l'horizon évacuant il est important d'approfondir la question de l'affinage des eaux usées traitées.

L'aptitude du sol à l'épandage a déjà fait l'objet d'étude et de mise en place d'indices d'aptitude, mais à une échelle beaucoup plus importante que la filière ANC (Aptitude des sols à l'épandage de matière organique dans le parc du Vercors) [CAP02]. Une autre étude a été réalisée en Belgique pour l'aptitude du sol à l'évacuation souterraine des eaux usées traitées [FRI06] [FRI04]. Cette étude est là encore faite à très grande échelle. De plus, beaucoup d'indicateurs physico-chimiques, qui jouent un rôle important dans le fonctionnement du sol, ne sont pas pris en compte

La stratégie du projet a donc été de procéder à une caractérisation sociotechnique [DR011] (usages, perception du sol et de ses fonctions par les acteurs de l'ANC), de déterminer une série d'indicateurs permettant d'évaluer la qualité des fonctions du sol en ANC [BN1013]; de les tester sur une série d'échantillons et d'intégrer toutes ces données dans un SIG à l'échelle d'une zone d'étude préalablement définie.

• **Choix des zones étudiées**

Fédération des eaux Puisaye-Forterre (département de l'Yonne) :

Une collaboration existe entre le CNAM (conservatoire national des arts et métiers) et la FEPF eaux Puisaye -Forterre de Toucy depuis 1972. Cet organisme gère également le SPANC qui est grandement sollicité pour prendre en charge l'obligation des communes et des particuliers vis-à-vis de l'assainissement non collectif. En effet l'Yonne est un département à dominante rural avec de nombreux

hameaux et village dont les habitations ne peuvent pas être raccordées au système d'assainissement collectif.

Cette zone nécessite un grand nombre de réhabilitations dues à des risques sanitaires et environnementaux importants. De plus, elle est située dans une région avec de nombreuses formations imperméables et une région d'alimentation de la nappe de l'Albien qui induisent de fortes contraintes environnementales dans la mise en place de filière d'assainissement non collectif.

Département de Seine-et-Marne :

Le choix s'est également porté sur la Seine-et-Marne où de nombreuses habitations nécessitent la mise en place de dispositif d'assainissement non collectif. L'envoi par courrier chez des particuliers pour une autorisation de prélèvement de sol a permis de réaliser des prélèvements sur 3 sites ANC.

Une convention, établie avec la chambre de l'agriculture de Seine-et-Marne, a également permis d'obtenir une trentaine d'échantillons de sol prélevés pour réaliser des cartes pédologiques sur les cartes Montereau-Fault-Yonne et provins.

- **Travaux réalisés**

Plusieurs études et stages ont été effectués se rattachant de près au projet ANCRES.

Le projet INVESTIG et rapport de stage sur le couplage endoscope et pénétromètre dynamique).

En 2006, veolia eau s'intéresse à la mise au point d'outils aptes à aller voir au cœur des massifs filtrant afin d'effectuer un diagnostic. Un brevet est déposé en 2009 « INVESTIG'+ » par le CEMAGREF de LYON, l'université de Clermont-Ferrand et Veolia eau. Parmi ces outils, l'association du pénétromètre dynamique PANDA associé à l'endoscope pour connaître la composition et le résultat de la mise en œuvre des massifs diagnostiqués, leur état de fonctionnement et leur niveau de vieillissement [LR01][LR02].

Le travail réalisé par la stagiaire Amamou Cherazad [AM012] dans le cadre du projet Ancres porte en partie sur l'adaptation du couplage pénétromètre dynamique léger type Panda⁷ et l'endoscope pour connaître le potentiel épurateur des sols soumis à l'infiltration en assainissement non collectif.

Le pénétromètre PANDA est choisi, car il s'agit d'un essai portable, rapide peu traumatisant et réalisable dans des conditions d'accès difficile. Il permet d'avoir une première approche de la nature et de la hauteur des matériaux composant les massifs filtrants des dispositifs d'assainissement non collectifs [BR00]. Le couplage de l'essai de pénétrométrie type PANDA avec la géoendoscopie⁸ devrait permettre une caractérisation in situ précise et complète. En effet, une méthode par analyse de l'image permet d'obtenir des caractéristiques telles que la texture, la granulométrie, l'angularité et la colorimétrie. [PB02] [PB06].

Cependant, cette méthode possède de nombreuses limites :

L'analyse d'image, en plus d'être une méthode complexe adaptée essentiellement aux chercheurs, est applicable essentiellement dans le cas des matériaux grenus (sable et gravier). La différenciation devient beaucoup plus problématique dans les sols fins (argile/limon) [BR06-BR02]. En effet Haddanie et al 2009 [HAD09] indique que la méthode d'analyse granulométrique fonctionne pour les matériaux grenus à faible pourcentage de fine.

La géoendoscopie permet d'avoir une première approche visuelle du degré de colmatage du dispositif par les films bactériens. Les images obtenues à l'endoscope ne permettent pas en termes de texture du sol, d'être plus précis que sable, limon, argile et la distinction n'est pas toujours évidente. Le pénétromètre dynamique permet d'avoir une approche qualitative pour le compactage du sol et éventuellement de mieux distinguer la limite entre les couches observées par géoendoscopie mais ici encore l'analyse n'est pas toujours évidente. Cette méthode est difficilement utilisable comme indicateur de la capacité du sol à

⁷ Pénétromètre dynamique léger type Panda [NXP94105] (pénétromètre autonome numérique dynamique assisté par ordinateur) est normalement conçu pour contrôler le compactage des sols et pour la reconnaissance des milieux granulaire [BR00]

⁸ L'endoscope est une caméra que l'on introduit dans la cavité réalisée lors du sondage au pénétromètre dynamique Panda. L'endoscope prend une image en continu de 5mm*5mm avec enregistrement de la profondeur.

être utilisé en filière d'assainissement non collectif, car elle ne nous donne aucune valeur quantitative et ne nous permet pas d'obtenir une description suffisamment fine du sol en place.

- **Observation des sols au MEB**

L'essai de caractérisation de la texture des échantillons de sol au MEB à partir d'image de référence [CA82] [RAU04] [UT04] [JS90] [EST81] pour décrire les constituants du sol (la matière organique, les feuillets argileux, les grains calcaires (CaCO_3), les grains siliceux (SiO_2 et silicates) s'avère être très complexe et ne peut être réalisé correctement sans utiliser de diffraction au rayon X [UT04] [FA07]. De plus, l'analyse d'image pour, par exemple évaluer la taille des pores, nécessite l'utilisation de logiciel informatique complexe [JA77] [BOL07] [HAL93] [LIU05].

Ceci montre encore la difficulté d'obtenir une description précise du sol et d'utiliser cette méthode pour définir les indicateurs.

Ces conclusions mettent l'accent sur la difficulté d'obtenir des résultats précis en utilisant des méthodes d'observation. Elles indiquent la nécessité d'utiliser des méthodes précises telles que les analyses de laboratoire afin de définir des indicateurs précis pour évaluer l'aptitude d'un sol à l'ANC.

3) Étude expérimentale

3.1) Méthodologie :

3.1.1) Prélèvement des échantillons

Cas des sites ANC :

Trois échantillons ont été prélevés sur 3 sites ANC.

- Le but étant de prélever du sol sain non contaminé par les eaux usées il convient de localiser sur le site le dispositif de traitement des eaux usées afin d'en être suffisamment éloigné.
- La présence d'un talus, permet d'effectuer un log afin d'identifier les horizons qui constituent le sol et de déterminer leurs épaisseurs. De plus, des prélèvements réalisés au marteau piqueur par la stagiaire gérant la partie chimie (Fella Arfif) permettent d'obtenir un log plus détaillé du sol en place pouvant aller jusqu'à 160 cm de profondeur.
- Le prélèvement d'échantillon se fait à l'aide d'une tarière thermique (photo 1) à une profondeur donnée. Il est important de noter que la profondeur maximale atteinte est de 80 cm. En moyenne entre 10 et 15 kg de sol sont prélevés, que l'on conserve dans un sac en plastique. Il n'est pas nécessaire que le sac soit totalement hermétique, car nous ne nous intéressons pas à la teneur en eau sur site du sol.



Photo 1 : Sondage et prélèvement de sol à la tarière thermique

Pour chaque échantillon de sol, une fiche est remplie contenant les informations suivantes :

- Les renseignements sur le propriétaire et le type de filière ;
- Un croquis pour pouvoir situer approximativement le log, les points d'échantillonnage et le dispositif en place.
- L'identification du log effectué au marteau piqueur (différenciation des couches, traces d'hydromorphie...)

- Numéros d'échantillon
- remarques diverses.

Cas des échantillons pour les sols de l'Yonne :

Pour les sols prélevés dans la FEPF qui sont au nombre de 9, la méthodologie change peu, car il ne s'agit pas de sol prélevé sur des sites ANC. Le choix des zones de prélèvement est fait à l'aide de la carte géologique pour localiser les formations ainsi que par l'observation de terrain pour s'assurer que la géologie visible à l'affleurement était bien celle décrite par la carte géologique du BRGM.

Pour chaque point de prélèvement, les informations suivantes sont recueillies :

- nom de la formation géologique
- Localisation du point de prélèvement sur la carte géologique du BRGM et sur la carte IGN.
- Observation du sol en place : présence de cailloux, hydromorphie, oxydation, racine, existence de plusieurs horizons de sol....

Cas particulier du CA77 :

34 échantillons de sol nous ont été remis par la chambre de l'agriculture de Seine-et-Marne prélevés au sein de fosse pédologique à profondeurs.

3.1.2) Description du profil vertical du sol

- **Profil vertical de sol**

Le profil vertical de sol est un indicateur essentiel pour caractériser un sol, il est constitué de plusieurs paramètres :

- **Les classes d'hydromorphie⁹:**

Il s'agit de porter un jugement global et synthétique sur l'ensemble d'un sol décrit (fosse, talus ou sondage), en matière de régime d'engorgement.

L'estimation de ces classes, basées sur des « profils d'hydromorphie », se fait par examen de plusieurs éléments :

- profondeur d'apparition des phénomènes d'oxydation ;
- contraste entre les plages de teintes caractéristiques ;
- grandeur relative de ces taches ;
- variation de la couleur du fond matriciel plus ou moins grisâtre ;
- présence et fréquence des nodules ferro-manganiques ;
- présence éventuelle d'un horizon complètement réduit.

L'interprétation de ces classes d'hydromorphie en classe de drainage dépend de la connaissance des sols régionaux et de leur régime hydrique. Ce système s'est avéré bien adapté pour différencier les degrés croissants d'hydromorphie des sols issus de matériaux limoneux loessiques ; il doit être modulé en cas de sols à textures argileuses ou franchement sableuses. Les différentes classes seront présentées ultérieurement.

- **L'épaisseur de la zone non saturée :**

On parle de sol non saturé quand les vides de ce milieu ne sont pas totalement remplis par le liquide. Le sol non saturé met en jeu des interactions entre les phases solide (particules du sol), liquide (eau) et gazeuse (air) contrairement au sol saturé.

Ces interactions affectent les paramètres hydrauliques du sol non saturé. Notamment l'interaction entre le liquide et le gaz qui crée une pression appelée pression capillaire (ou hauteur capillaire).

La ZNS est définie par : profondeur minimale de la nappe moins la hauteur capillaire divisée par 2.

3.1.3) Mesure de la conductivité hydraulique in-situ

La conductivité hydraulique est un indicateur essentiel pour évaluer l'aptitude d'un sol à recevoir un dispositif d'assainissement non collectif. En effet, elle détermine l'aptitude du sol à transmettre l'eau à

⁹ [BA.HY]

travers le milieu poreux. Sa connaissance est indispensable pour l'étude des pollutions des sols. En milieu saturé, le déplacement de l'eau a lieu dans tous les pores interconnectés.

En effet, la perméabilité du sol est essentielle dans la fonction d'évacuation et d'épuration du sol. Elle devra pour la fonction d'épuration être suffisamment grande pour laisser circuler l'eau dans le sol, mais pas trop grande pour laisser le temps au sol de traiter l'eau du sol. Pour la fonction d'évacuation, la perméabilité pourra être plus grande. Ce point sera développé dans la partie 4.1.

En général les ordres de grandeur suivants sont retenus :

- Très faible perméabilité, $K_s < 10^{-7} \text{ ms}^{-1}$
- Faible perméabilité, $10^{-7} \text{ ms}^{-1} < K_s < 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$
- Perméabilité moyenne, $10^{-6} \text{ ms}^{-1} < K_s < 10^{-5} \text{ ms}^{-1}$
- Grande perméabilité, $10^{-5} \text{ ms}^{-1} < K_s < 10^{-4} \text{ ms}^{-1}$
- Très grande perméabilité, $10^{-4} \text{ ms}^{-1} < K_s$

La conductivité hydraulique est directement liée à la structure et la texture du sol (figure 7). En effet, la structure du sol peut induire des chemins de circulation d'eau préférentielle par exemple du à la présence importante d'agrégat dans le sol ou à la présence de cailloux.

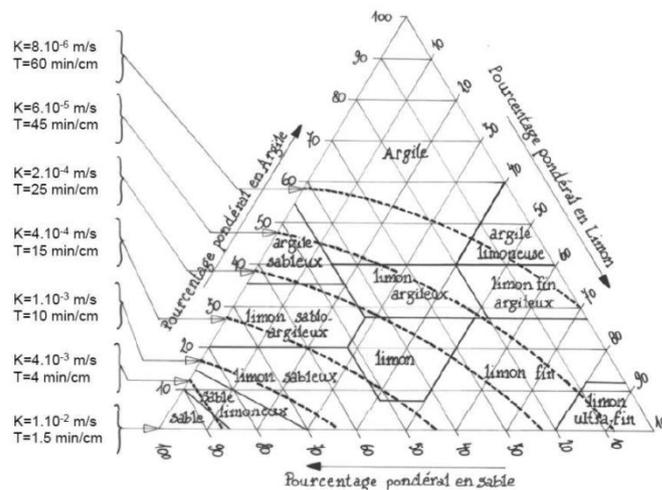


Figure 7 : Relation entre la texture du sol et la conductivité hydraulique du sol [DX08]

• **Outil de mesure in situ : le perméamètre de Guelph.**¹⁰

De nombreuses études ont montré que le perméamètre de Guelph est une des méthodes de terrain les plus utilisées pour mesurer les propriétés hydrauliques du sol *in situ*. L'appareil est aisé à porter et facile d'utilisation [BA99].

Le perméamètre de Guelph est un dispositif à charge constante qui fonctionne selon le principe de Mariotte et permet, par une méthode rapide et simple, de déterminer simultanément la conductivité hydraulique à saturation *in situ* et d'estimer ensuite le potentiel hydrique et l'absorption de ce sol. Il est composé de deux tubes transparents reliés par une valve permettant la gestion d'un ou des deux réservoirs, à un autre tube inséré dans le sol et en contact avec celui-ci, le tout stabilisé par un trépied

Les essais au perméamètre de Guelph (photo 2) se réalisent suivant des étapes importantes à respecter pour assurer la pertinence des mesures et le traitement des données par la suite. Le protocole habituel est d'appliquer un flux d'eau constant dans un sol non saturé, à la profondeur souhaitée, contrôlée par une charge hydraulique.

¹⁰ L'ensemble des informations sur le perméamètre de Guelph sont issus des références bibliographique [EL89] et [SM012].



Photo 2 : essai de conductivité hydraulique au perméamètre de Guelph.

- Mise en place sur le terrain

(1) creusement d'un trou de 15 à 30 cm minimum à la tarière. Cette profondeur pourra être plus grande dans le cas des sites ANC pour évaluer la conductivité hydraulique à saturation pour une profondeur donnée.

(2) nettoyage du fond de trou de manière à obtenir une surface régulière

(3) Brossage à l'intérieur du trou pour supprimer le lissage des parois

(4) insertion de l'infiltromètre dans le trou

(5) choix du réservoir d'eau: un seul réservoir pour les sols plus argileux, peu perméables et deux réservoirs pour les sols sableux et limoneux, plus perméables.

(6) injection d'eau dans le sol, contrôlée par une charge hydraulique de 5 cm d'eau pour le premier essai, puis 10 cm d'eau pour le deuxième essai (ou une des deux charges) permet au bout d'un certain temps la formation d'un bulbe de saturation (figure 8)

(7) notation des valeurs de hauteur d'eau dans le cylindre à mesure que l'eau s'infiltré dans le sol, à un pas de temps décidé préalablement. Ce pas de temps est en moyenne de 1 à 3 minutes pour un sol limoneux sableux, et de 5 minutes pour un sol plus argileux.

- Principe de calcul

Reynold et al (1989) [EL89] considère que le sol autour du trou de forage n'est pas uniformément saturé en effet, le flux à partir d'un forage crée un petit bulbe saturé au voisinage du forage englobé par un volume non saturé (figure 8).

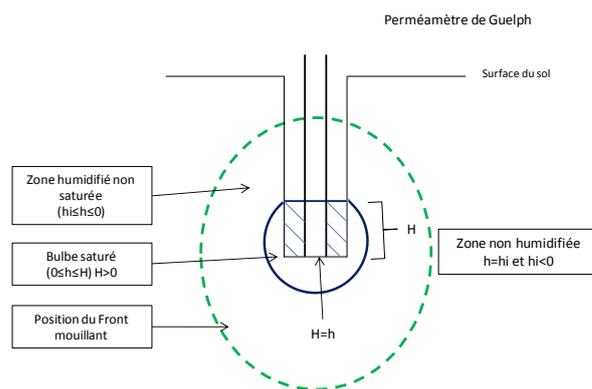


Figure 8 : schéma de la formation du bulbe saturé au voisinage du forage.

Reynold et al (1989)[EL89] tiennent compte de l'influence de la gravité hors du forage et des propriétés capillaires de la zone non saturée. Ils aboutissent ainsi à la relation suivante :

$$Q = AKfs + B\phi m(1)$$

Avec ϕm le potentiel matriciel ($m^2 \cdot s^{-1}$), ou potentiel hydrique qui mesure la capacité d'un sol à aspirer de l'eau grâce à la force de capillarité par unité de surface et de temps.

$AKfs$ représente la composante saturée du Flux et $B\phi m$ la composante non saturée

Kfs : conductivité hydraulique à saturation mesurée.

Il existe deux types de calculs, le calcul standardisé et le calcul généralisé (Annexe 3). Dans notre cas nous avons utilisé les calculs généralisés.

- Avantage du perméamètre de Guelph sur la méthode de Porchet

La méthode Porchet permet de mesurer la conductivité hydraulique horizontale déterminée au champ. Cette méthode peut être à niveau variable ou à niveau constant. Les mesures de type Porchet à niveau constant sont préconisées pour l'évaluation de l'infiltration dans le sol pour les installations d'assainissement. La réalisation d'un essai de Porchet demande entre 4h00 et 24h00 de mise en eau afin d'atteindre la saturation [LA012]. Ce qui est extrêmement long par rapport à un essai de Guelph, dont la totalité de l'essai dure, environ 1h00. Dans le cadre des études en ANC les essais de Porchet devraient être réalisés entre 60 et 120 cm de profondeur [BR08] ce qui n'est pas toujours le cas (en réalité, ils sont plutôt effectués entre 20 et 30 cm). Le perméamètre de Guelph permet de réaliser des essais plus rapidement et à des profondeurs variables. De plus, il s'agit d'un essai qui possède une bonne répétabilité et dont le protocole d'utilisation est clairement défini par soil moisture [SM010] (qui fournit également un logiciel de traitement des données). En effet aucun protocole n'est défini clairement pour le test de Porchet à charge constante.¹¹ La gamme de mesure de conductivité hydraulique pour le Guelph est plus large que celle de Porche¹².

3.2.1) Détermination d'indicateurs physico-chimique pour évaluer la faisabilité d'un ANC.¹³

Les indicateurs physico-chimiques ont été déterminés pour évaluer les fonctions d'intérêt¹⁴ et s'appuient sur des « indicateurs » objectifs intégrant l'état des sols et leur fonctionnement. Ses indicateurs seront définis à l'aide de mesures in situ et d'analyses au laboratoire. Dans le cadre de sa thèse, Bezhad Naszri a cherché à définir plusieurs indicateurs physico-chimiques permettant de juger la faisabilité de l'ANC (assainissement non collectif)[BN10-13]. Il a ainsi appliqué ces indicateurs à une série d'échantillons prélevés sur des sols n'ayant pas encore servi à l'ANC (31 échantillons) et sur 6 échantillons de sol impactés par les eaux usées. Lors de mon stage, ces mêmes indicateurs ont été utilisés sur les échantillons de sol prélevés sur site.

- **Humidité résiduelle**¹⁵

L'humidité résiduelle (HR) de la matrice du sol est définie comme la perte de masse après séchage à 105 °C exprimée par rapport à la matrice préalablement séchée à l'air libre dans des conditions moyennes de température et de pression [BA00]. Elle est calculée suivant l'équation (1).

$$HR = \frac{M_{20} - M_{105}}{M_{20}} \times 100$$

L'humidité résiduelle permet d'estimer qualitativement le taux d'argile et de matière organique contenu dans le sol ainsi que la capacité de rétention de celui-ci.

On admet des valeurs courantes HR de 4 à 8 % pour des textures argileuses, et inférieures à 1 % pour des horizons sableux peu humifères. La détermination de l'HR permet de mieux situer et critiquer toutes les analyses fournies sur la texture de la matrice du sol et les propriétés physiques du sol.

Par exemple pour un échantillon argileux, une humidité résiduelle supérieure à 8 % peut être l'indice d'un séchage imparfait. Il faut cependant bien se rendre compte que l'humidité relative de l'air dans le local de séchage a une influence notable sur l'humidité résiduelle : de 4 à 7 % pour un même échantillon

Un pourcentage d'humidité résiduelle supérieur à 8 % peut être expliqué par un mauvais séchage à l'air.

¹¹ Il existe une norme expérimentale [NF X 30-424] mais qui n'est pas spécifique au test de Porchet et à l'assainissement non collectif et une circulaire du ministère de l'Environnement datant de 1997 [ME97]

¹² Entre 10⁻⁴ et 10⁻⁹ pour l'essai de Guelph et entre 10⁻⁶ et 10⁻⁹ pour l'essai de Porchet [TH06]

¹³ Les protocoles d'essais en laboratoire sont donnés en annexe 5.

¹⁴ Les fonctions d'intérêts sont celles citées dans la partie 2.3.1 (épuration secondaire et affinage, Évacuation superficielle et profonde).

¹⁵ [NF ISO 11465]

- **Analyse granulométrique par sédimentométrie** ¹⁶

L'analyse de la granulométrie par sédimentation est fondée sur la loi de Stokes applicable aux suspensions de faible concentration et donne la vitesse limite de décantation des particules de sols en fonction de leur diamètre et de leur masse volumique dans un liquide visqueux au repos. Elle permet de connaître la répartition des particules minérales < à 80 µm.

Il est possible de connaître ainsi la texture du sol liée à la composition granulométrique par un diagramme triangulaire ALS (argile, limon, sables) type USDA (figure 9) :

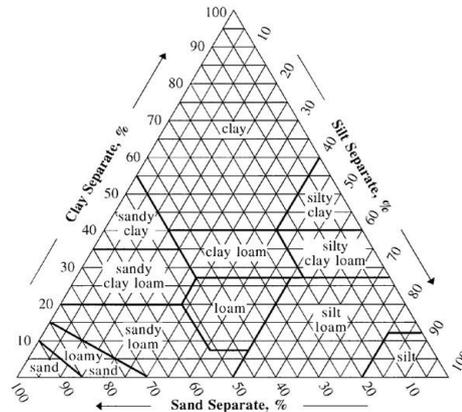


Figure 9 : Diagramme de texture USDA.

(clay (argile), sandy clay (argile sableuse), silty clay (argile limoneuse), sandy clay loam (limon sablo-argileux), clay loam (limon argileux), loam (limon fin), silt (limon ultra-fin, sand (sable), loamy sand (sable limoneux)

La texture du sol est un indicateur essentiel pour évaluer la qualité d'un sol pour l'assainissement non collectif. En effet la connaissance du pourcentage d'argile est essentielle pour évaluer la capacité d'adsorption d'un sol. La texture donne également des informations sur la sensibilité au tassement et la stabilité texturale essentielle lors d'infiltration d'eau superficielle.

Par ailleurs, la texture est directement reliée à la conductivité hydraulique à saturation du sol en place.

- **La teneur en carbonate du sol** ¹⁷

La teneur en carbonate correspond au rapport entre la masse de carbone contenue dans la matrice du sol (ici la fraction < 400 microns) et la masse sèche totale de la matrice.

La détermination se fait par décomposition du carbonate de calcium (CaCO₃) contenu dans le sol en utilisant de l'acide chlorhydrique. La teneur en carbonate du sol nous permet de déterminer une classe (annexe 4 tableau 4).

Le pourcentage de calcaire total contenu dans un sol aura un effet sur la stabilité structurale et la porosité. En effet, la présence de calcaire entraîne un contexte physico-chimique particulier, caractérisé par la surabondance de l'ion Ca⁺⁺, un pH élevé, une saturation du complexe d'échange cationique et, à l'inverse, l'absence d'ions H⁺ et Al³⁺ échangeables [BA02]. La présence de calcaire contenu dans un sol aura donc un effet positif sur la capacité d'échange cationique, la stimulation de l'activité biologique de celui-ci et donc sur le pouvoir épuratoire du sol. Il joue également un rôle protecteur sur la matière organique [UNIFA05] [JU05] [VE02].

La répartition du calcaire selon les classes granulométriques est importante. Avec des taux de CaCO₃ comparables, il existe des sols où les sables calcaires dominent et d'autres où le calcaire se situe principalement dans les fractions limoneuses les plus fines (sols issus de marnes) avec une structure du sol complètement différente [BA02].

¹⁶ [NFP 94-057]

¹⁷ [NF P94-048]

- **Teneur en matières organiques**¹⁸

Les matières volatiles solides (MVS) ne sont pas uniquement constituées de matière organique (MO), elles comportent également une fraction de matières minérales capables de se volatiliser sous l'action de la chaleur (bicarbonates, chlorures...). Le principe est de mesurer le taux de MVS contenu dans un sol calciné à 505 °C.

Le rôle de la matière organique est essentiel pour évaluer les fonctions du sol. Elle joue un rôle majeur d'un point de vue environnemental [CAP08] [CAP07] [CABR011] [CAM01] [JU06] [VE02] [BI00].

- Limite l'hydromorphie, facilite la pénétration de l'eau dans le sol ;
- rôle dans l'adsorption et la rétention de l'eau, des cations échangeables, du phosphore, de l'azote, des éléments traces métalliques, etc. ;
- rôle positif sur la stabilité structurale du sol (effet positif sur la porosité et limitation du tassement)
- rôle biologique vis-à-vis des micro-organismes ;
- En règle générale, en profondeur, le taux de matière organique est plus faible que dans les trente premiers centimètres des sols ;
- **Les limites d'Atterberg**¹⁹ :

La détermination des limites d'Atterberg permet de connaître le comportement d'une matrice de sol donnée (en fonction de la nature et de la quantité d'argiles qu'il contient) lorsqu'il est soumis à des sollicitations. L'état d'un sol peut-être différent, c'est-à-dire liquide, plastique ou solide. Les limites d'Atterberg représentent les valeurs de teneur en eau qui séparent ces différents états : la limite de liquidité et la limite de plasticité. Ces limites permettent de connaître l'Indice de plasticité (IPL) du sol et d'obtenir le qualificatif associé (annexe 4 tableau 5).

On remarque que plus l'indice de plasticité est élevé, plus le sol est sensible aux effets de gonflement par humidification (ou de retrait par dessiccation) et donc par cet effet les chemins préférentiels peuvent apparaître dans le sol lorsque l'écoulement de l'eau dans le sol est périodique.

D'après Denis Baize [BA00], « les sols plus sensibles aux déformations sont les sols qui se trouvent à l'état plastique c'est-à-dire que la teneur en eau à la capacité de rétention maximale est supérieure à la limite de plasticité, même après élimination de l'eau gravitaire ».

La limite de plasticité nous donne donc également une indication sur la capacité de rétention du sol et sur le temps de résidence de l'eau dans le sol.

- **Surface spécifique déterminée par la méthode du bleu de méthylène.**²⁰

Par définition, la surface spécifique (Ss) est la surface totale (As) par unité de masse (m) et exprimée généralement en m²/g.

La surface spécifique, mesurée par adsorption du bleu de méthylène, est liée et corrélée au type et à la quantité d'argile, la minéralogie des argiles, la capacité d'échange cationique.

Le tableau 1 donne la relation entre la valeur au bleu de méthylène, la capacité d'échange cationique et la texture du sol :

Tableau 1 : Les équations de la relation CEC = f(VBM) en fonction de la classe texturale

Classe texturale	VBM	CEC	CEC=f(VBM)
Argile	150-250	4-60	CEC = 0,560 x VBM - 80
Limon argileux	120-200	4-35	CEC = 0,375 x VBM - 40
Limon	50-150	4-30	CEC = 0,260 x VBM - 9
Limon sableux	50-100	3-25	CEC = 0,440 x VBM - 19
Sable	10-50	2-17	CEC = 0,500 x VBM - 3

¹⁸ [XP P94-047]

¹⁹ [ISO/TS] 17892-12 :2004]

²⁰ [NF P94-068]

Cette corrélation est établie à partir des données bibliographiques du (tableau 7 annexe 4) :

La valeur au bleu de méthylène permet également d'estimer l'activité argileuse du sol. (principe de calcul et qualificatif : Annexe 4 tableau 8)

L'activité argileuse du sol permet d'avoir une idée sur la capacité d'adsorption de celui-ci. La surface spécifique déterminée par méthodes d'adsorption permet d'évaluer les propriétés physico-chimiques de surface telles que l'adsorption des éléments chimiques, et la capacité de rétention d'eau. De plus, la valeur de ce paramètre est un indice du type d'argile (kaolinite, illite, montmorillonite...) présent dans le sol. La surface spécifique est liée à la capacité d'échange cationique du sol représente la taille du réservoir permettant de stocker de manière réversible certains éléments fertilisants cationiques (potassium, magnésium, calcium...). La CEC est liée au complexe argilo humique. La valeur de la CEC d'un sol est donc fonction des quantités d'argile et de MO qu'il contient, mais aussi de la nature des éléments et du pH du sol et donne donc de précieuses indications sur le fonctionnement du sol [CAM01],[BIO0],[JU06],[LANO].

- **Cas particulier du CA77**

Les essais des indicateurs ANC fournis par la chambre de l'agriculture de Seine-et-Marne ont été réalisés suivant d'autres protocoles que ceux réalisés dans le cadre du projet ANCRES :

- Méthode à la pipette²¹

Cette méthode permet comme pour le densimètre d'obtenir la granulométrie du sol pour des particules inférieures à 80 µm plusieurs études réalisées pour comparer les deux méthodes nous indiquent que les résultats sont comparables[LUI66] , [BOU30] c'est pourquoi le choix a été fait de ne pas réaliser d'essai de granulométrie par la méthode du densimètre pour ces échantillons.

- Teneur en carbone (méthode d'Anne)²²:

Dans le cadre du projet ancrés nous avons directement mesuré la matière organique du sol par calcination. La CA77 a, elle, mesuré le carbone organique total et ensuite estimé la matière organique suivant la relation :

$$MO = 1.724 * CO$$

Nous avons donc déterminé la teneur en matière organique par calcination pour voir si les données obtenues étaient corrélables avec celle donnée par la CA77

- Teneur en carbonate²³ :

Dans le cadre du projet ancrés nous avons mesuré la teneur en carbonate totale par la méthode du calcimètre. (Norme NF P 94-048) qui nous donne un pourcentage de CACO₃ totale contenu dans l'échantillon de sol. La CA77 a, elle, réalisé cette mesure par la méthode de volumétrie (ISO 10693:1995). C'est pour cette raison qu'ici aussi nous avons réalisé cette mesure suivant notre méthode pour voir si les données sont corrélables.

- Surface spécifique et activité argileuse estimée par la méthode au bleu de méthylène.

Une relation a été établie entre la capacité d'échange cationique mesurée par la CA77 et la valeur au bleu mesurée (Tableau 1) pour estimer la surface spécifique (dans le cas du CA77 la valeur manquante est la surface spécifique). Nous avons donc effectué un essai au bleu de méthylène pour tous les échantillons de sols pour évaluer cette relation.

²¹ [NF X 31-107]

²² [NF ISO 14-35]

²³ [NF ISO 106-93]

4) valorisation des indicateurs ANCREs et des données existantes par la mise en place d'un système de notation.

Le but est de noter les quatre fonctions du sol pouvant être utilisées en filière d'assainissement non collectif à savoir :

- le traitement des eaux usées (Teu) (cas des tranchées et lit d'épandage)
- l'affinage des eaux usées traitées infiltrées (Aeuti)
- l'évacuation profonde des (EPeuti) (cas des filtres à sables non drainés à 110 m)
- L'évacuation par infiltration superficielle (ESeuti) (cas des tertres ou des eaux usées traitées drainées)

Nous établirons dans un premier temps une note pour chaque indicateur (la note pourra varier suivant la fonction étudiée). Puis dans un second temps seront établis un système de notation globale, puis un système de classification de l'aptitude du sol propre à chaque fonction.

4.1) Notation des indicateurs ANCREs

4.1.1) prise en compte de la conductivité hydraulique Ks

Les exigences en terme de conductivité hydraulique ne sont pas les mêmes pour le Teu (tableau 10 et 11 Annexe 5), pour EPeuti, ESeuti et Aeuti (tableau 12 et 13 Annexe 5)

Le DTU 64.1 ne donne aucune indication sur la perméabilité maximale ou minimale nécessaire pour l'évacuation des eaux usées traitées en profondeur et pour la fonction d'affinage. Il a donc été considéré que la perméabilité devait idéalement être plus grande ou au moins égale à celle de l'horizon traitant, car la réduction de K pourrait provoquer la saturation par le bas de l'horizon traitant dans le cas d'une évacuation directe dans le sol. On prendra donc comme seuil, une valeur supérieure au seuil de bonne perméabilité de la fonction de traitement (tableau 10 et 11, annexe 5). De plus, ces seuils sont multipliés par dix, car les intervalles ne sont pas aussi contraints pour l'évacuation qui est un transfert que pour le traitement (tableau 12 et 13, annexe 5)²⁴.

Le DTU 64.1 préconise l'essai de Porchet dans ces recommandations. Un petit nombre d'essais comparatifs entre l'essai de Porchet et l'essai de Guelph [BN10-13] ont permis d'obtenir la relation suivante .

$$KG = KP/(5*1000*3600) \text{ en ms}$$

Information complémentaire:

KP (taux d'infiltration de Porchet): correspond à la conductivité hydraulique jusqu'à 60 cm voir 80 cm de profondeur (tableau 10 et 12, annexe 5).

KG (taux d'infiltration de Guelph) correspond à la conductivité hydraulique de préférence mesurée avec le perméamètre de Guelph, sinon estimée à partir d'essai de Porchet (difficilement réalisable à 110cm) (tableau 11 et 13, annexe 5).

Si la conductivité hydraulique du sol est insuffisante à la profondeur d'évacuation des eaux usées traitées une amélioration du sol par ajout de grave est préconisée.

4.1.2) épaisseur de la ZNS (zone non saturée)

La nécessité d'avoir une certaine épaisseur de sol dépend du dispositif ANC et de la fonction. L'épaisseur de la ZNS doit être mise en relation avec les paramètres de profil vertical du sol, à savoir la profondeur minimale de la nappe (NPHE) et la hauteur capillaire (HC)²⁵.. Elle est donc définie par :

$$epZNS = NPHE - HC$$

²⁴ De plus, le cas idéal pour l'évacuation dans le cas d'un massif filtrant serait d'avoir une conductivité hydraulique égale ou supérieure de celui-ci (généralement $> 10 \text{ m/s}^{-5}$).

²⁵ La hauteur capillaire maximale (HC) est déterminée à partir du tableau 13 en annexe 5.

Dans le cas où la profondeur minimale de la nappe n'est pas connue, il sera possible d'utiliser la profondeur d'apparition des traces d'hydromorphie pour estimer la ZNS. Les classes d'hydromorphie définies à la figure 10.

En 1981, la figure 10 est publiée par la commission cartographique du GEPPA (Groupe d'étude des problèmes de pédologie appliquée – groupe d'experts animé par Stéphane Hénin). Les profondeurs ont été modifiées pour s'adapter aux profondeurs d'évacuation et d'infiltration rencontrées en ANC. L'hydromorphie croît simultanément de la classe I à la classe VI et de a à c ou d dans chaque classe, les deux échelles pouvant se recouper. L'importance des sous-classes a, b, c ou d est aussi grande pour l'interprétation de l'hydromorphie que celle des classes I à IV. Le référentiel pédologique de 2008 [REF08] utilise un nouveau système de classification des sols appelé GER (grands ensembles de référence) donné en annexe 2.

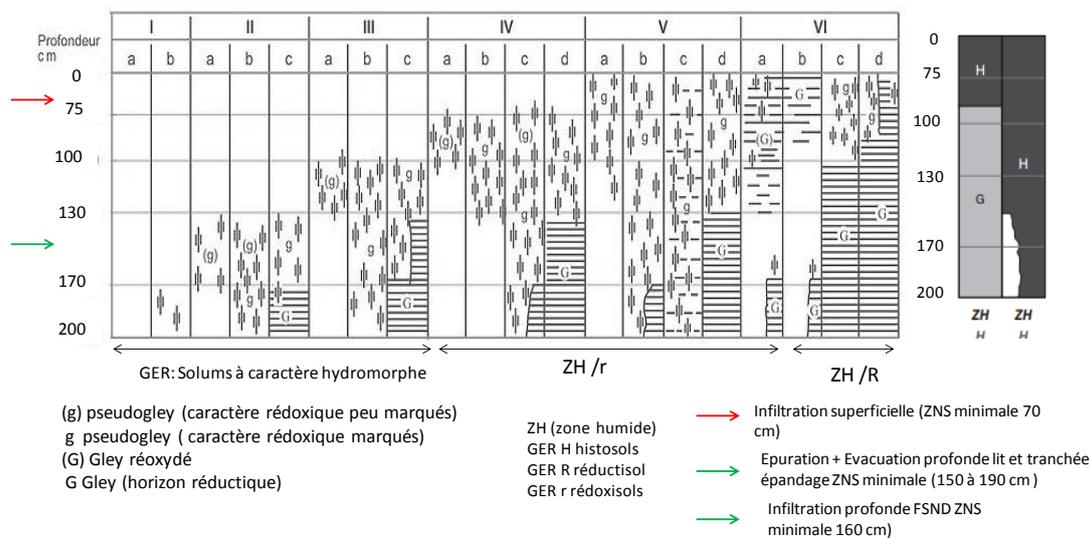


Figure 10 : Cette figure présente les degrés d'hydromorphie d'un profil de sol.

Le degré d'hydromorphie aboutit à 6 classes : Classe I : Aucune manifestation d'hydromorphie avant 200 cm, Classe II : Manifestations d'hydromorphie apparaissant entre 130 et 170 cm, Classe III : Manifestations d'hydromorphie apparaissant entre 100 et 130 cm, Classe IV : Manifestations d'hydromorphie apparaissant entre 50 et 75 cm, Classe V : Manifestations d'hydromorphie apparaissant entre 0 et 50 cm, Classe VI : Manifestations d'hydromorphie dès la surface du sol avec un horizon réduit débutant avant 100 cm ». Les flèches rouge, bleu et vertes nous indiquent les profondeurs d'évacuation des eaux usées traitées qui dépend de la filière ANC. Les termes Histosol, réductisol, Zone humide, gley, pseudogley, gley réoxydée sont définis dans le glossaire.

- **Épuration secondaire (Teu) :**

L'épaisseur de la ZNS est importante pour l'épuration des eaux usées par le sol. Il s'agit ici d'un paramètre similaire à la réserve utile en considérant l'épaisseur utile comme « l'espace que l'eau aura pour circuler dans le sol pour être traitée. Dans le cas d'un épandage (tranchée ou lit), le niveau maximal de la nappe doit être au moins à 1 m en dessous du fond du système. L'épaisseur de la ZNS doit donc être au minimum de 1m 50 cm (tableau 14, Annexe 5).²⁶

- **Évacuation superficielle et profonde des eaux usées traitées (ESeuti et EPeuti)**

L'évacuation dans les dispositifs ANC peut se faire soit par évacuation superficielle (ESeuti) soit par évacuation en profondeur (EPeuti). On considère qu'il faut au minimum 0.5 m de sol perméable pour

²⁶ Épandage large (0,5 m (terre végétale+gravier) +1 m (nappe)=1m50), Épandage profond (0.9 (terre végétale + gravier) + 1m (nappe)=1.9m)
Épandage standard (0,6 m (terre végétale+gravier) +1 m (nappe) = 1m60).

pouvoir évacuer correctement les eaux usées traitées. Ainsi, pour l'ESeuti l'épaisseur minimale est fixée à 70 cm et pour l'EPeuti à 160 cm²⁷. Pour les EPuti. Tableau 15 et 16, Annexe 5)

Dans les trois cas, Teu,ESeuti et EPeuti la note ZNS 2 et ZNS3 concerne le cas où on ne tient pas compte de la hauteur capillaire mais seulement de la hauteur de la nappe. La note ZNS 1 est obtenue dans le cas où l'on tient compte de la hauteur capillaire, on augmente alors la marge de sécurité.

4.1.3) Note d'Hydromorphie

L'hydromorphie est un critère défavorable en système d'assainissement non collectif, car elle est synonyme de mauvais drainage, et entraîne une dégradation de la fonction épuratrice du sol. Fonction d'évacuation et d'épuration secondaire

- Pour la fonction d'épuration secondaire, deux cas de figure peuvent exister :

Dans le cas où l'observation des traces d'hydromorphie ont pu être réalisées sur le terrain, un système de notation (tableau 17 annexe 5) est établi à partir de la figure 10 partie. :

L'effet négatif de l'hydromorphie sur la fonction épuratrice du sol est ensuite évalué par un système de notation qui utilise la matière organique (MOC) (tableau 18 annexe 5), les limites d'atterberg (tableau 20 annexe 5) et l'humidité résiduelle (tableau 19 annexe 20).

La matière organique du sol joue un rôle sur la limitation de l'hydromorphie (Note MOCh)

L'humidité résiduelle donne une indication en termes de temps de rétention de l'eau dans le sol et donc l'oxygénation de celui-ci. (Note DHR)

L'indice de plasticité déterminé à partir des limites d'Atterberg nous permet d'avoir une information sur la capacité de rétention²⁸ du sol mais également de connaître l'intensité du phénomène de retrait gonflement qui pourrait entraîner la formation de chemin préférentiel de circulation d'eau dans le sol. (Note IPL).

On obtient alors la note suivante :

$$\text{Note HDR pour épuration} = \text{MOCh} + \text{IPL} + \text{TER} + \text{DRH}$$

4.1.4) note de stabilité structurale :

Cette note concerne le pouvoir d'infiltration superficielle. Elle intègre les indicateurs MOC, la teneur en calcaire (CAC) et la stabilité structurale (SST).

La MOCs²⁹ du sol joue un rôle sur la pénétration de l'eau dans le sol, la rétention d'eau, la limitation de l'érosion et du tassement. En fonction du pourcentage de MOC, l'effet sera plus ou moins positif sur la structure du sol et la porosité (Tableau 21, annexe 5).

La teneur en carbonate (CACs) joue également un effet sur la stabilité structurale et la porosité. Plus le pourcentage en Ca est élevé plus l'effet est positif (Tableau 22, annexe 5).

La sensibilité au tassement (STA) peut être évaluée à partir de la Texture du sol grâce au classement des textures en fonction de leur sensibilité au tassement (diagramme triangulaire établi par Rémy et Mathieu en 1972 (tableau 23, annexe 5).

$$\text{Note stabilité structurale (pouvoir d'infiltration superficielle)} = (\text{MOCs} + \text{CAOs} + \text{SSTs})$$

4.1.5) note des processus physico-chimique déterminants pour la fonction d'épuration (PCE) (adsorption/dégradation/minéralisation).

²⁷ Ici on considère que pour l'évacuation superficielle, il y'a 0.2 m de terre végétale. En considérant qu'il faut au minimum 0,5 m pour évacuer les eaux usées traitées, il faudra au minimum 0,7 m de ZNS. Pour l'évacuation en profondeur, il n'y a pas de terre végétale, il nous faudra donc 0.5 m de ZNS sous le dispositif.

²⁸ D'après DENIS BAIZE « les sols les plus sensibles aux déformations sont les sols qui se trouvent à l'état plastique c'est-à-dire que la teneur en eau à la capacité de rétention maximale est supérieure à la limite de plasticité, même après élimination de l'eau gravitaire »

²⁹ Le « s » dans MOCs CACs et STAs signifie superficielle.

Cette note concerne la fonction épuratrice du sol, elle intègre les indicateurs, activité argileuse, la Surface spécifique (VBM) ou la CEC, la MOcep et CAOep

L'activité argileuse (ACA) informe sur la capacité d'adsorption du sol qui facilite les processus de dégradation et de minéralisation par les bactéries (tableau 23, annexe 5).

La CEC et VBM donnent des indications sur la capacité d'adsorption mais, également sur les échanges chimiques en fonction de leur quantité dans le sol (tableau 24, annexe 5).

La MOcep a un effet plus ou moins important sur l'augmentation de la CEC (stockage et disponibilité des éléments minéraux) et sur la rétention des micropolluants organiques. Mais également sur la stimulation de l'activité biologique (dégradation, minéralisation, aération) et la fourniture d'éléments minéraux nécessaires à la dégradation et à la minéralisation. (tableau 25 annexe 5)

La teneur en carbonate à un effet positif plus ou moins marqué sur la CEC et les échanges chimiques, mais joue également un rôle de protection de la MOC. Ainsi que sur la stimulation de l'activité biologique. (tableau 26 annexe 5).

Note processus physico-chimique épuratoire (PCE)= ACA+(CEC/VBM)+MOcep+CAOep³⁰

4.2 °) Système de notation (N) propre à chaque fonction du sol

- Fonction de traitement des eu (épuration épuration secondaire)

$$N_{eu} = ZNS_{Teu} * KG_{Teu} \text{ ou } KP_{Teu} \text{ (note HDR + note PCE)}$$

- Fonction d'évacuation profonde des eaux usées traitées infiltrées (Epeuti)

$$N_{Epeuti} = ZNS_{Epeuti} * KG_{Epeuti}$$

- Fonction d'infiltration des eaux usées traitées superficielles (ESeuti)

$$N_{ESeuti} = ZNS_{ESeuti} * i * KS_{ESeuti} \text{ ou } KP_{ESeuti} * (\text{note de STA})$$

La Fonction d'affinage des eaux usées traitées infiltrées (Aeuti) est subordonnée à la fonction d'évacuation souterraine et superficielle. Dans le cas où certaines molécules seraient relarguer dans l'horizon évacuant il est important d'approfondir la question de l'affinage des eaux usées traitées. Pour évaluer la capacité d'affinage de l'horizon évacuant, le système de notation suivant est utilisé :

$$N_{Aeuti} = ZNS_{Aeuti} * kG_{Aeuti} * (\text{HDR + note PCE})$$

4.3) Classe d'aptitude du sol en fonction de la notation obtenue

- **Fonction d'épuration secondaire**

Le tableau 2 présente les classes d'aptitude pour cette fonction (le code couleur est donné en fonction de la notation obtenue (tableau 27 annexe 5)). Pour chaque note on pourra préciser qu'il s'agit de la fonction d'épuration secondaire (Teu). Par exemple : Aa0_{Teu}.

Tableau 2 : Classes d'aptitude pour l'épuration secondaire

Épuration secondaire		
	Classe I	Très bonne aptitude. Sol possédant une très bonne capacité de drainage et un temps de rétention suffisant pour que l'eau usée puisse être traitée par le sol. Les fonctions d'adsorption dégradation et minéralisation sont très développées. L'épaisseur de la ZNS suffisante.
	ClasseII	Bonne aptitude. Sol possédant une bonne capacité de drainage et un temps de rétention suffisant pour que l'eau usée puisse être traitée par le sol. Les fonctions d'adsorption dégradation et minéralisation sont peu développées. L' épaisseur de la ZNS est suffisante .
	Classe III	Aptitude moyenne. Sol possédant une capacité moyenne de drainage et un temps de rétention suffisant pour que l'eau usée puisse être traitée par le sol. Les fonctions d'adsorption dégradation et minéralisation sont très développées. L'épaisseur de la ZNS est suffisante.

³⁰ Le « ep » pour MOcep et CAOep signifie épuratoire

	Classe IV	Aptitude médiocre. Sol possédant une capacité moyenne de drainage et un temps de rétention suffisant pour que l'eau usée puisse être traitée par le sol. Les fonctions d'adsorption, dégradation et minéralisation sont peu développées. L'épaisseur de ZNS est suffisante.
	Classe V A	Mauvaise aptitude de ce sol à l'épuration du à une ZNS insuffisante.
	classe V B	Sol inapte à l'épuration du à une perméabilité insuffisante.

- **Fonction d'évacuation superficielle des eaux usées traitées**

Le tableau 3 présente les classes d'aptitude pour cette fonction (le code couleur est donné en fonction de la notation obtenue (tableau 29 annexe 5)). Pour chaque note on pourra préciser qu'il s'agit de la fonction d'évacuation superficielle (ESeuti). Par exemple : Aa0_{ESeuti}.

Tableau 3 : Classes d'aptitude pour l'évacuation superficielle

Évacuation superficielle des eaux usées traitées		
	classe I A	Très bonne aptitude. Sol très perméable possédant une bonne stabilité structurale et une ZNS suffisante .
	classe I B	Bonne aptitude. Sol très perméable possédant une mauvaise stabilité structurale et une ZNS suffisante .
	Classe II A	Aptitude moyenne. Sol perméable possédant une bonne stabilité structurale et une ZNS suffisante .
	Classe II B	Aptitude moyenne. Sol perméable possédant une mauvaise stabilité structurale et une ZNS suffisante .
	classe III A	Sol inapte : Sol perméable , mais possédant une ZNS insuffisante .
	classe III B	Sol inapte : sol est imperméable ou de perméabilité médiocre .

- **Fonction d'évacuation des eaux usées traitées infiltrées**

Le tableau 4 présente les classes d'aptitudes pour cette fonction (le code couleur est donné en fonction de la notation obtenue (tableau 28 annexe 5)). On pourra préciser pour chaque notation qu'il s'agit de la fonction d'évacuation des eaux usées traitées infiltrées. Par exemple : Aa0_{EPeuti}.

Tableau 4 : Classes d'aptitude pour l'évacuation profonde

Évacuation profonde		
	classe I	Bonne aptitude. Bonne perméabilité et ZNS importante.
	Classe II	Aptitude moyenne. Bonne perméabilité, mais ZNS moyenne
	Classe III	Sol inapte. Sol imperméable ou de perméabilité médiocre ou possédant une ZNS insuffisante.

La fonction d'affinage est subordonnée aux fonctions d'évacuation superficielle et profonde. On utilisera le même système de notation que celui de l'épuration secondaire, mais avec une autre signification des classes. Elle représente l'aptitude épuratrice de ce sol à détruire les molécules n'ayant pas été traitées par le dispositif ANC. Si le sol est inapte à l'évacuation profonde ou superficielle, il le sera également pour l'affinage. Le tableau 4 présente les classes d'aptitudes pour cette fonction (le code couleur est donnée en fonction de la notation obtenue (tableau 27 Annexe 5)). On pourra préciser pour chaque notation qu'il s'agit de la fonction d'affinage. Par exemple : Aa0_{Aeuti}.

Affinage		
	Classe I	Très bonne aptitude. Sol possédant une très bonne capacité de drainage et un temps de rétention suffisant pour que l'eau usée traitée puisse être traitée par le sol. Les fonctions d'adsorption, dégradation et minéralisation sont très développées.
	Classe II	Bonne aptitude. Sol possédant une bonne capacité de drainage et un temps de rétention suffisant pour que l'eau usée puisse être traitée par le sol. Les fonctions d'adsorption, dégradation et minéralisation sont peu développées..
	Classe III	Aptitude moyenne. Sol possédant une capacité moyenne de drainage et un temps de rétention suffisant pour que l'eau usée puisse être traitée par le sol. Les fonctions d'adsorption, dégradation et minéralisation sont très développées.

	Classe IV	Aptitude médiocre. Sol possédant une capacité de drainage moyenne et un temps de rétention suffisant pour que l'eau usée puisse être traitée par le sol. Les fonctions d'adsorption, de dégradation et de minéralisation sont peu développées.
	Classe V A	Mauvaise aptitude de ce sol à l'épuration du à une ZNS insuffisante.
	classe V B	Sol inapte à l'épuration du à une perméabilité insuffisante.

Il est important de noter que ces classes sont établies à partir des caractéristiques du sol même. D'autres critères devront être pris en compte dans l'établissement des classes finales. Par exemple :

- La présence d'un plancher imperméable
- La pente
- La présence de captage à proximité
- Autres contraintes environnementales propres à chaque site

Si un de ces critères est défavorable, il peut entraîner une inaptitude pour l'utilisation de ce sol pour la fonction d'évacuation.

5) Caractérisation des sols sur deux zones d'étude

5.1) Caractérisation de la FEFP³¹

5.1.1) présentation du site

- Présentation générale (figure 11) :

La géomorphologie de l'Yonne est caractérisée par plusieurs ensembles : Le plateau de la craie crétacé (appelé aussi plateau du Gatinais et de la Puisaye) légèrement ondulé est délimité au sud par une cuesta. Le plateau de Bourgogne qui présente les mêmes caractéristiques. Ces plateaux sont recouverts par de grands champs de cultures, quelques bois et forêts.

Entre ses deux plateaux, les plaines et collines de la Puisaye creusées par les rivières. D'altitude moins importante cette zone est délimitée, au nord, par la cuesta des plateaux de la craie crétacé et au sud par le plateau du jurassique supérieur. On y observe de nombreuses prairies et beaucoup de bois. Terre plaine au sud que nous n'avons pas observé sur le terrain forme une cuesta avec le Jurassique supérieur.

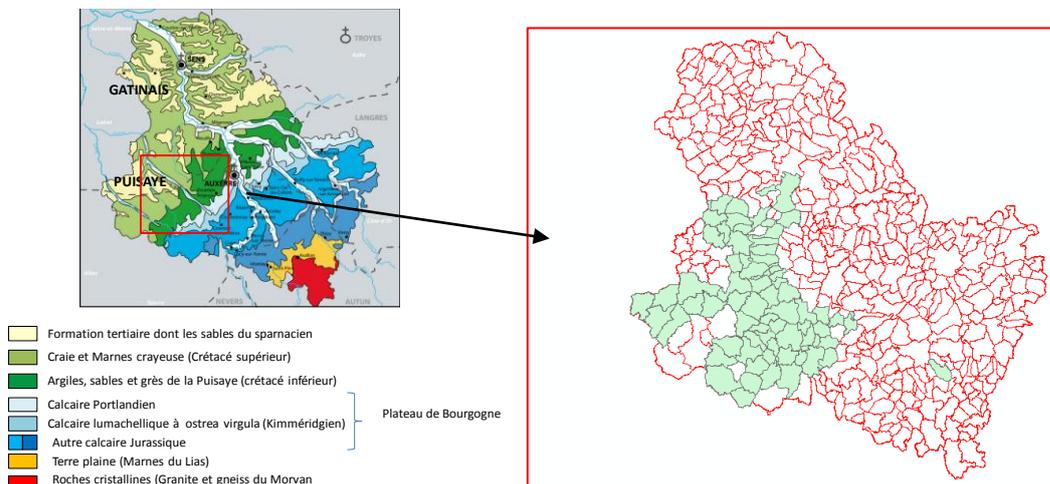


Figure 11 : carte géologique de l'Yonne (d'après S. Büttner : <http://cem.revues.org>) et carte de la zone FEFP à droite.

L'Yonne se partage entre deux ensembles géologiques, le Bassin parisien, sédimentaire (Ère secondaire, tertiaire et formation superficielle des vallées) et le massif du Morvan, cristallin (Ère primaire). Dans le cadre du stage nous nous intéresserons essentiellement à une zone géologique située dans la FEFP (Figure 11). Lors d'une mission le 22 mai 2013, les formations géologiques suivantes ont pu être observées.

³¹ La majorité des informations sont tiré des références bibliographiques [BA011], [BA089], [BA93] et de la carte géologique du BRGM au 1/50000 d'Auxerre.

- **Formation tertiaire :**

Les sables du Sparnacien , photo 3 B :

Sables argilo-sableux de couleur ocre contenant quelques petits cailloux. Il est issu de l'altération de la craie mélangée à des dépôts alluviaux qui montre la complexité de la formation.

- **formations du crétacé**

La craie du cénomanien, photo 3 A:

De couleur blanche elle présente un aspect stratifié et contient des blocs de silex. La craie s'altère très facilement. On observe une fracturation décroissante du sommet vers le bas de la formation. Il en est de même pour les zones oxydées de moins en moins importantes vers le bas de la formation.

Les sables de la Puisaye (Albien supérieur), photo 5C:

Sables purs vivement colorés en jaune, orange et contenant des bancs de grès ferrugineux brun violacé. Ces sables peuvent contenir des passées sableuses plus argileuses. Cette formation est considérée comme perméable.



Photo 3 : photo d'un affleurement de la craie du campanien dans une ancienne carrière (A), affleurement des sables du Sparnacien (B), Sable de la Puisaye excavé lors de travaux à Saucilly (C).

Les sables verts et argiles noires (Albien inférieur) :

Cette formation est constituée de sables verts sablo-argileux, puis d'argiles noires (Argiles de Myennes riches en matière organique) et se termine par des sables fins argileux. Ces sables sont considérés comme une formation perméable pouvant parfois contenir des nappes perchées.

Les argiles à Plicatules (Aptien) , photo 4 B :

Il s'agit d'argiles plastiques brunes à grisé s'altérant en surface pour donner des couleurs ocre. D'après la bibliographie, il s'agit d'une formation imperméable.

Les sables et argiles panachées (barrémien supérieur), photo 4 A :

Cette formation est caractérisée par une alternance de sables, d'argiles sableuses et d'argiles plastiques, qui implique de nombreuses variations latérales de faciès. D'après la notice du BRGM il s'agit d'une formation imperméable sauf au niveau des passes sableuses avec le développement possible de nappe perchée.

Les lumachelles et marnes à huitre (barrémien inférieur) :

Formation constituée de calcaires marneux auquel succèdent des argiles grises vers le sommet. D'après le BRGM, il s'agit d'une formation imperméable.



Photo 4 : Affleurement d'argiles à plicatules au lieu dit « les tuileries »(B), Argiles panachées observées sur le bord de la route(A), échantillon de marnes et calcaire lumachelilique à ostrea virgula (C).

Le calcaire du Barrois (portlandien) photo 5 A :

Il s'agit d'un calcaire relativement compact très fracturé souvent altéré en surface. Il est de couleur blanche à patines jaune clair. Il peut contenir quelques intercalations lumachelliques ou marneuses.



Photo 5 : affleurement du calcaire du Barrois (A), photo d'un affleurement de colluvion de pente issue du calcaire du Barrois reposant sur du J8

Les marnes et calcaire lumachellique à ostrea virgula (photos 4 C et 5B) :

Le sommet de cette formation est caractérisé par des marnes suivies de calcaire marneux lumachellique, puis une alternance de bancs calcaires et de bancs marneux très souvent altérés sous forme d'argiles grises. D'après le BRGM, il s'agit d'une formation imperméable

Il est possible d'observer des colluvions de pente (photo 5 B) issues du calcaire du Barrois reposant en discordance sur la formation kimméridgienne. On observe en surface un horizon riche en matière organique (le sol végétal) relativement bien développée. Les blocs des colluvions de pente sont pris dans une matrice fine de couleur ocre à brune. Ce site montre bien que les blocs sont désorganisés et ne présente pas de stratification particulière.

Les habitations dans la région de l'Yonne sont très éparées ce qui rend l'affiliation à des réseaux d'assainissement non envisageable pour de nombreuses habitations. La nécessité pour celles-ci de recourir à un système d'assainissement non collectif montre pourquoi le choix s'est porté vers l'Yonne pour le projet Ancres [CGY011].

5.1.2) localisation des prélèvements d'échantillon.

La figure 12 à 15 permet de localiser les sites de prélèvement des échantillons de sol.

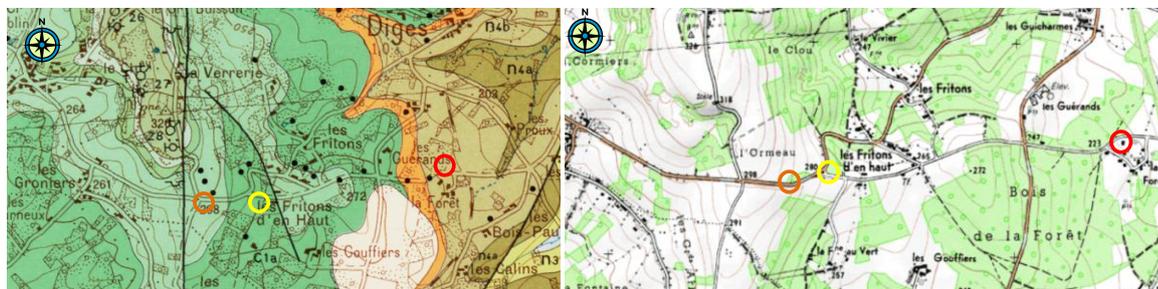


Figure 12 : Extrait de la carte géologique du BRGM et de la carte IGN d'Auxerre au 1/50000.

(Localisation des prélèvements : en orange les argiles à lumachelle (17), en jaune les argiles noires (15) et en rouge, les argiles panaché (19))

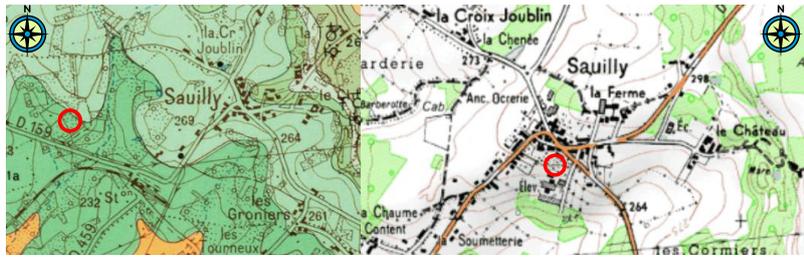


Figure 13 : Extrait de la carte géologique du BRGM et de la carte IGN d'Auxerre au 1/50000
(En rouge la localisation du prélèvement des sables de la puisaye (16))

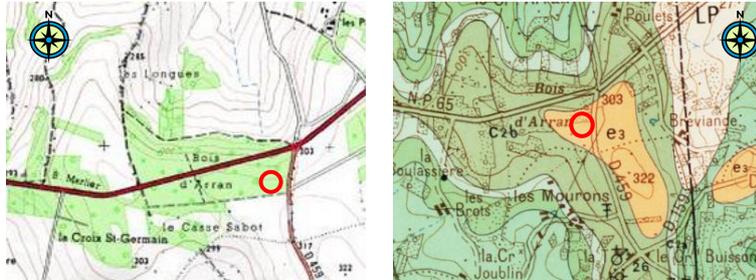


Figure 14 : Extrait de la carte géologique du BRGM et de la carte IGN d'Auxerre au 1/50000
(En rouge la localisation du prélèvement des sables du sparnacien(16))

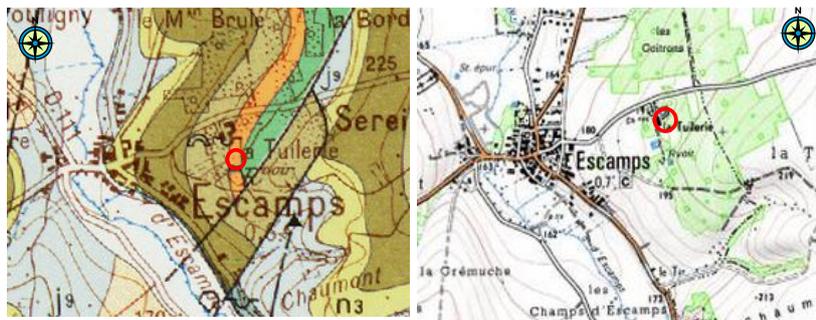


Figure 15 : Extrait de la carte géologique du BRGM et de la carte IGN d'Auxerre au 1/50000
(En rouge la localisation du prélèvement des argiles à plicatules (20)).

Le tableau 30 en annexe 6 récapitule la liste des échantillons prélevés dans la FEPP contenant une série d'informations sur leur localisation.

Le tableau 31 en annexe 6 récapitule l'appartenance géologique et pédologie des échantillons prélevés suivant la carte géologique du BRGM et la carte pédologique de l'Yonne établie par Denis Baize.

5.1.3) Résultats

Le tableau 32 en annexe 7 récapitule les résultats obtenus en laboratoire et une partie de leur interprétation. Il est important de noter que la capacité d'échange cationique, l'activité argileuse et la surface spécifique sont obtenues à partir de la valeur au bleu (essai au bleu de méthylène). Il en est de même pour la valeur de KP obtenue à partir de la relation décrite dans la partie (3.1.3).

L'observation sur le terrain et l'analyse texturale du sol nous permet d'obtenir d'autres informations en matière de profil vertical du sol et de conductivité hydraulique. Ces données sont exprimées annexe 8.

5.2) Caractérisation des sols de la chambre de l'agriculture du 77

5.2.1) Présentation de la zone d'étude

- **Géomorphologie :**

La zone étude présente, du côté de Provins, un paysage typique de la craie avec des petites collines sèches peu boisées. La vallée de la Seine est constituée de prairie humide et de peupleraie. Les plateaux et falaise de la craie surplombant la vallée de la seine forme une Cuesta.

La feuille de Montereau-Fault-Yonne est modelée par les larges vallées de la Seine et de l'Yonne qui permet de distinguer trois paysages : Les plateaux de Bries, les collines du Sénonais et les interfluviaux entre la Seine et l'Yonne. Au sud, la vallée et colline de la craie ainsi que les plateaux du tertiaire

• Géologie

Le programme de travail de la Chambre d'Agriculture a pour objectif la cartographie pédologique du département 77, avec comme support des feuilles au 1/50 000 dont les bords coïncident avec les feuilles au 1/50 000 du BRGM (lithologie du substratum). Ainsi, les cartes pédologiques seront superposables aux cartes géologiques. Une campagne de terrain a été réalisée pour couvrir les feuilles de Montereau –Fault-Yonne (238 éch. pour 70 fosses) et Provins (218 éch. pour 65 fosses). N'ayant pas connaissance des points précis de prélèvement seule une présentation de la géologie générale sera faite avec pour support la carte du BRGM au 1/250000 (figure 16).

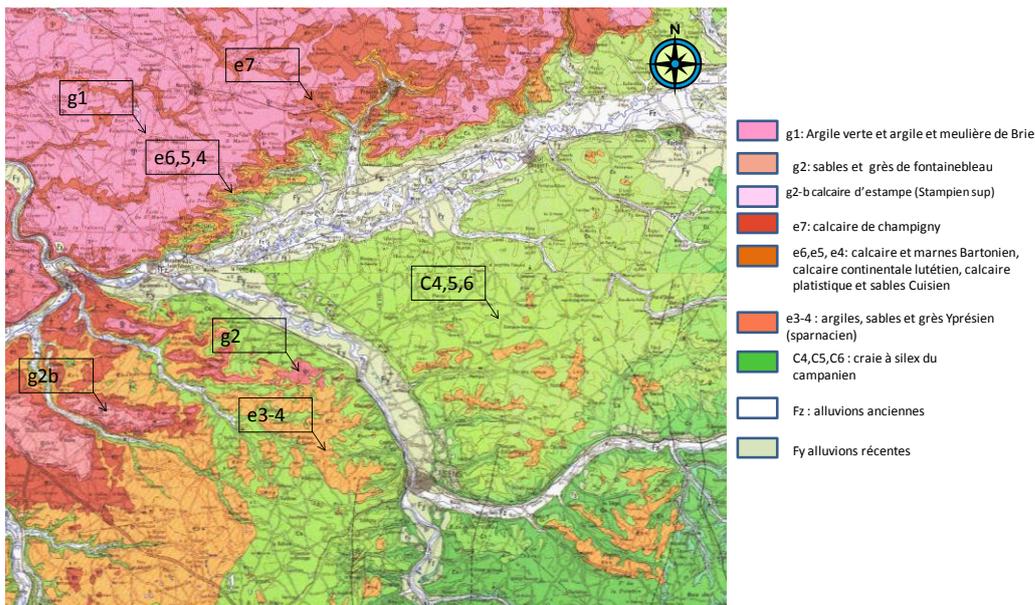


Figure 16 : carte géologique du BRGM au 1/250000 de la zone étudiée par la CA77.

Les formations superficielles ne sont pas indiquées sur la figure 8 (sauf les alluvions), on retrouve donc dans la notice géologique du BRGM au 1/50000 de la feuille de Provins et de Montereau-Fault-Yonne les formations superficielles suivantes :

- Anthroposol : Qui correspond le plus souvent à des remblais de travaux ou de carrière
- Formations colluviales : Il existe de nombreuses colluvions d'origine très diverse. Certaines sont très remaniées ce qui rend difficile la reconnaissance du milieu d'origine. D'autres, sableuses et caillouteuses, sont constituées par des terrains tertiaires. Il en existe également des argilo-sableuses des bas de versant et des vallées.
- Formation de loess : Essentiellement présente sur la feuille de Montereau-Fault-Yonne. Ils peuvent être argileux, calcaire avec une lithologie très variable ou encore, indifférenciée constituée de matériaux fins, argiles, limons avec une fraction de sables importante.
- Alluvions modernes : Certaines sont sablo-argileuse, d'autres sont sous forme de grave, galet sables et cailloutis.
- Alluvions anciennes : Constituées de galet, gravier, sables et parfois d'argiles.
- Formations résiduelles diverses : Il s'agit des formations d'épandage de vallée, argilo-sableuse de couleur brune à rouge de l'Orvin (carte de provins) qui contient un pourcentage très élevé de silex de petites dimensions. Mais également les formations argileuses remaniées des « sols » formées pour l'essentiel dans la craie. Enfin, la couverture sablo-limoneuse ou sablo-argileuse issue des sables de Fontainebleau.
- Limons des plateaux : Constitués par des dépôts argilo-sableux fins et compacts, ils sont généralement brun foncé et argilo-sableux vers le sommet. La constitution de ces limons dépend de la roche dont ils sont issus (Sables de Fontainebleau, argiles à meulière...).

- **Hydrogéologie :**

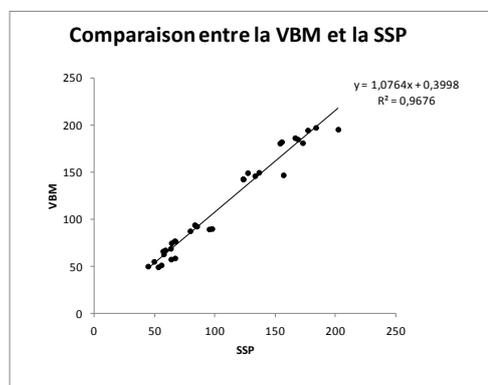
De nombreuses formations perméables aquifères (craie, calcaire, sables de Fontainebleau, alluvions) montrent bien que cette zone d'étude est susceptible de présenter un nombre important de nappes par exemple la nappe des sables de Fontainebleau. Ce critère est très important lors de la construction de filière d'assainissement non collectif.

5.2.2) Résultats et analyse :

Comme expliqué dans la partie (3.1.4) le but de nos essais en laboratoire (bleu de méthylène, teneur en carbonate et matière organique) était de voir s'il était possible de corréliser les méthodes utilisées par la chambre de l'agriculture du 77 et celle utilisée dans le cadre du projet ANGRES.

- **Corrélation entre la surface spécifique obtenue à partir des valeurs mesurées au bleu de méthylène et celle obtenue à partir de la relation établie entre CEC/VBM et la texture du sol.**

Le tableau en annexe 9 donne les résultats des essais au bleu de méthylène. On constate que le rapport entre les deux surfaces spécifiques présente des valeurs correctes comprises entre 0.851 et 1.099 soit, une erreur comprises entre -13,2 % et +15 %. Le graphique 1 de comparaison entre la surface spécifique établit avec les valeurs au bleu de méthylène (VBM) et la surface spécifique prédite (SSP prédite) à partir des valeurs de CEC du CA77, permet d'obtenir une corrélation linéaire suivante :



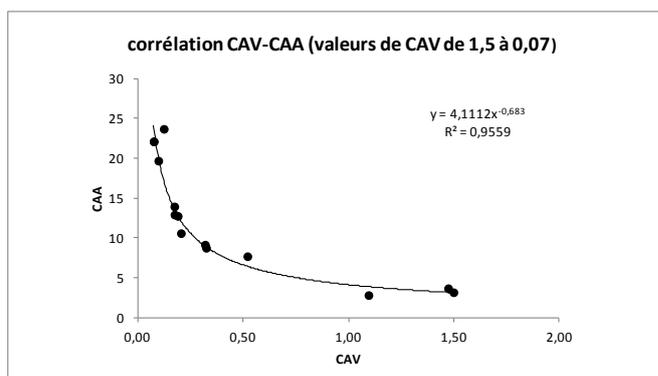
Graphique 1 : graphique de corrélation entre la surface spécifique déterminée à partir de la valeur au bleu de méthylène (VBM) et la valeur de SSP prédite.

Le R^2 très proche de 1 nous indique que la corrélation entre ces deux valeurs est correcte. Cela permet de dire que la relation établie tableau 1 dans la partie 3.2.1 permet de prédire correctement la surface spécifique à partir de la texture et de la valeur de la CEC (et inversement dans le cas où on ne connaîtrait que la CEC). Cependant cette corrélation seulement effectuée sur une trentaine d'échantillons, il conviendrait donc de la confirmer avec d'autres mesures.

- **Corrélation entre les deux méthodes de mesure de la teneur en carbonate.**

Le tableau en annexe 10, donne les résultats des essais de mesure de la teneur en carbonate suivant les deux méthodes utilisées. On constate que le rapport entre les deux méthodes donne des valeurs correctes, pour les valeurs de teneur en carbonate supérieur à 2 % et celle très proche de zéro. Le rapport est compris entre 0,92 et 1.15. Par ailleurs, on constate que le rapport entre les deux méthodes augmente significativement pour les valeurs inférieures à 2 % et supérieures à 0.08 %.

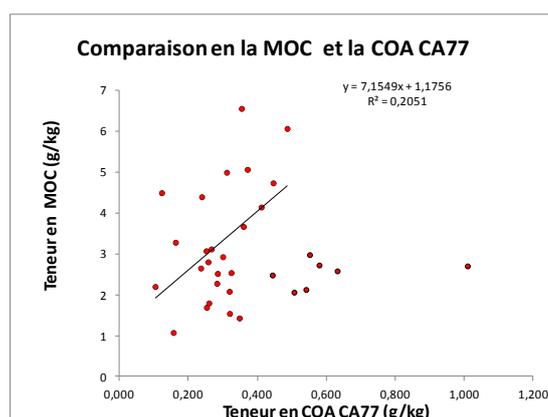
La comparaison entre les deux méthodes pour les valeurs comprises entre 0.08 % et 2 % sont présentées le graphique 2. On obtient alors une corrélation puissance :



Graphique 2 : graphique de la corrélation entre les valeurs de teneur en carbonate mesurée par la méthode du calcimètre (CAA) et celle mesurée par la méthode volumétrique (CAV).

Le R^2 très proche de 1 nous indique que la corrélation entre ces deux méthodes est très correcte. Cette erreur sur la mesure peut-être expliquée par une différence de précision entre les deux méthodes, ou une différence de précision avec le matériel utilisé (par exemple la balance de précision utilisée). Ainsi pour les sols possédant une très faible valeur en CaCO_3 une erreur dans la pesée de l'échantillon pourrait expliquer cette surestimation des valeurs par la méthode utilisée dans le cadre du projet ANCRES. Il est aussi possible que la méthode utilisée par la CA77 ne détecte pas tout le CaCO_3 à partir d'un certain seuil, ce qui explique que les valeurs du projet ANCRES soient supérieures.

- **Corrélation entre les deux méthodes de mesure de la teneur en matière organique (Graphique 3)**



Graphique 3 : graphique de la corrélation entre les valeurs de teneur en matière organique mesurée par la méthode de calcination (MO ANCRES) et celle du CA77 (méthode d'Anne)

Le graphique 3 donne un R^2 médiocre qui semble indiquer que la corrélation utiliser (MO= CO*1.175) ne fonctionne pas dans notre cas. D'autres méthodes d'analyse statistique ont donc été utilisées (annexe 11) qui donnent une meilleure corrélation entre les deux méthodes (1.23 pour le GMER et 2.2 pour le GSDER). Les résultats sont donnés en Annexe 11. Ses deux résultats montrent qu'il y'a une certaine compatibilité entre la méthode de la CA77 et celle du projet ANCRES.

5.3) Présentation des sites ANC de Chartrettes

5.3.1) présentation de la zone d'étude

La zone d'étude de Chartrette peut être délimitée en deux parties. Au nord, les plateaux de la formation des calcaires de Brie, recouverts par des limons de plateaux. Au sud, la vallée de la Seine caractérisée par la plaine alluviale. Les flancs de vallées sont structurés par les formations tertiaires (figure 17). L'alternance de formations perméables et imperméables dans les terrains tertiaires détermine plusieurs réservoirs. Les alluvions anciennes et nouvelles sont également le siège de nappe abondante. Ce contexte hydrogéologique est essentiel dans la mise en place de dispositif ANC, car il est important d'évaluer le risque de contamination des nappes.

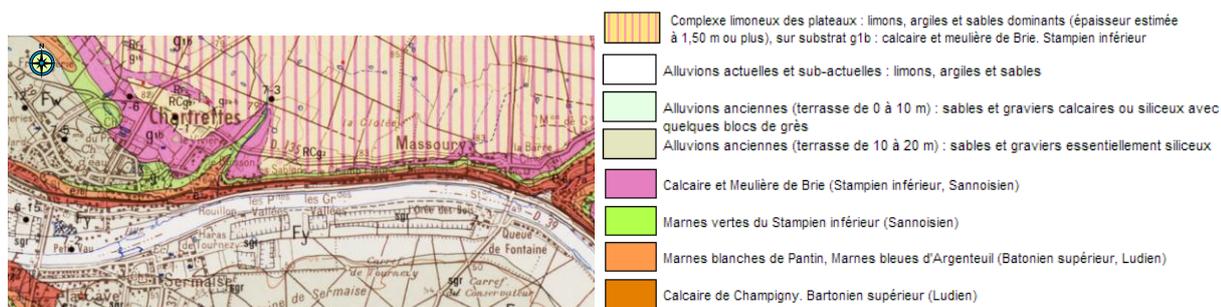


Figure 17 : Carte géologique et légende de Melun au 1/50000 (BRGM)

5.3.2) localisation et présentation des sites ANC

Le tableau 35 et 36, annexe 12 récapitule la liste des échantillons prélevés sur les sites ANC de la commune de Chartrette en Seine-et-Marne contenant une série d'informations sur leur localisation et leur géologie.

Site 1 (77 ME ANC 21) : Monsieur et Madame Bareau 11 rue du pas du Veau, 77590 Chartrette



Figure 18 : Carte IGN de Melun au 1/25000 et Carte géologique du BRGM de Melun au 1/50000

Géologie rencontrée : Alluvions anciennes de la seine (Fz). Le site est localisé par le cercle rouge.

Le terrain où le dispositif d'assainissement non collectif est en court de construction n'est pas très pentu. La maison est construite suivant des normes adaptées aux zones inondables. Le site ne dispose que d'une fosse septique âgée de 36 ans avec un système de massif filtrant dont les dimensions ne sont pas suffisantes pour l'habitation.

Des travaux sont donc effectués pour l'installation d'un nouveau ANC avec un dispositif de prétraitement séparant les eaux pluviales et les eaux usées. Le dispositif mis en place est constitué de :

Un regard qui collecte toutes les eaux en provenance du bac dégraisseur, de la fosse septique et des gouttières. Sur ce site, un filtre à sable drainé a été préconisé (FSd) (photo 11).



Photo 6 : Photo du dispositif en court de construction.

La tranchée pour l'arrivée des eaux prétraitées et le regard de collecte sont bien visibles sur la photo de gauche. À droite, la fosse creusée pour accueillir le FSd.

Deux sondages au marteau-piqueur ont été réalisés par Fella Arif (stagiaire en chimie au Leesu). Un blanc (à 80 cm de profondeur) c'est-à-dire non contaminé par les eaux usées et un prélèvement à proximité de l'ancien filtre à sable (à 180 cm de profondeur).

Seuls les sondages sur sol sain seront présentés, car l'intérêt dans le cadre du stage est porté à l'aptitude du sol pour l'assainissement non collectif avant circulations des eaux usées. Il en sera de même pour tous

les sites. Le prélèvement de sol pour les analyses en laboratoire provient du terrassement effectué lors des travaux ANC. Ici, la tarière thermique n'a pas été utilisée. Un essai au perméamètre de Guelph a également été réalisé. Les sondages, prélèvements et essais sont situés sur la figure 19, la localisation des sondages en ANC sont données à titre indicatif :

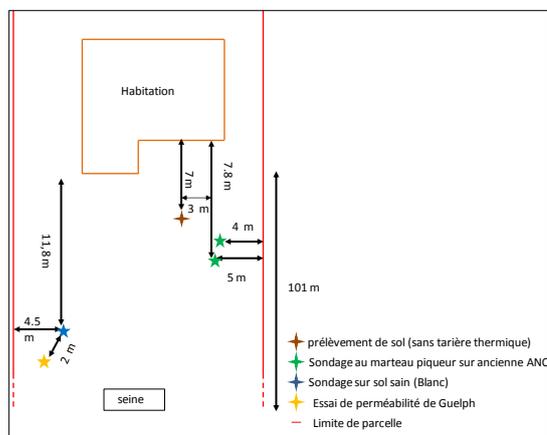


Figure 19 : plan d'implantation des sondages et prélèvement sur le site ANC 1

Le sondage réalisé au marteau piqueur permet d'établir la succession lithologique suivante (photo 12) .

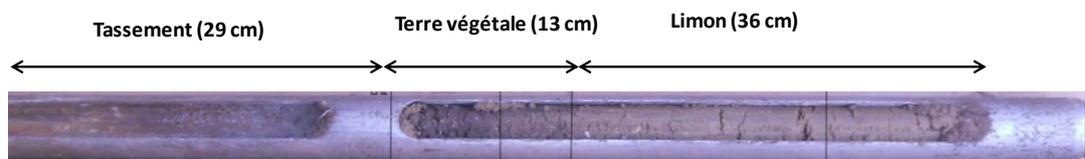


photo 7 : Sondage réalisé au marteau piqueur, il est possible de distinguer 2 couches, de la terre végétale et du limon.

L'utilisation du marteau piqueur induit un tassement c'est pourquoi il n'est pas possible de connaître l'épaisseur exacte à partir de ce sondage. Cependant, le sondage réalisé à la tarière à la main pour réaliser l'essai de perméabilité de Guelph et la fosse creusée pour la réalisation du nouveau dispositif ANC, nous ont permis d'estimer l'épaisseur de sol végétal à une vingtaine de centimètres, suivie d'au moins 80 cm de limon argileux homogène, sain, sans trace d'hydromorphie.

Site 2 (77 ME ANC 22) : Monsieur CHAUVIN, 6 rue des sablons, 77590 Chartrette



Figure 20 : Carte IGN de Melun au 1/25000 et Carte géologique du BRGM de Melun au 1/50000

Géologie rencontrée : Limon des plateaux(RCg₂) sur calcaire et Meulière de Brie (Violet). Le site est localisé par le cercle rouge.

Le tableau 36 en annexe 12 récapitule l'appartenance géologique des échantillons prélevés, suivant la carte géologique de Melun au 1/50 000 du BRGM.

La résidence est construite sur un terrain pentu avec deux fosses septiques, dont l'une de 70 ans d'âge est condamnée. (Photos 13)



Photo 8 : Photo du site ANC, on observe sur les deux photos que nous sommes ici en présence d'un terrain très pentu.
 Les prélèvements et essais ont été effectués comme indiqué sur la figure 21.

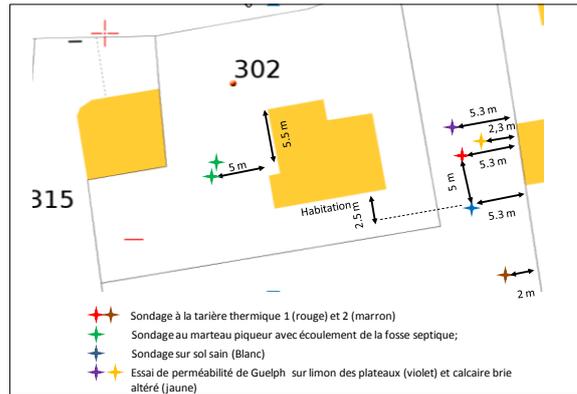


Figure 21 : plan d'implantation des sondages et prélèvement sur le site ANC 2.

En utilisant les courbes de niveau de la carte IGN de Chartrette au 1/25000 et les données du cadastre la pente du terrain à pu être estimée à 22 % :

$$\text{Pente} = (\text{hauteur de dénivèle} / \text{longueur du terrain}) * 100 = (12.5 / 55) = 22 \% \text{ soit } 10^\circ \text{ en considérant que } 45^\circ = 100 \%$$

Le sondage sur sol sain au marteau-piqueur a permis d'obtenir la succession lithogique suivante (photo 14) :



photo 9 : Sondage réalisé au marteau piqueur, il est possible de distinguer 3 couches, de la terre végétale, du limon des plateaux et des marnes blanches.

Deux sondages à la tarière thermique ont été effectués dont un pour prélever du sol (sondage 1). Ils ont permis d'évaluer plus précisément l'épaisseur des couches en deux points, 20 cm de terre végétale, puis 60 cm de limon suivit des marnes blanches qui pourraient être du calcaire de Brie altéré.

Site 3 (77 ME ANC 23) : Gregory Tigrid, 25 clos des pensées Chartrette

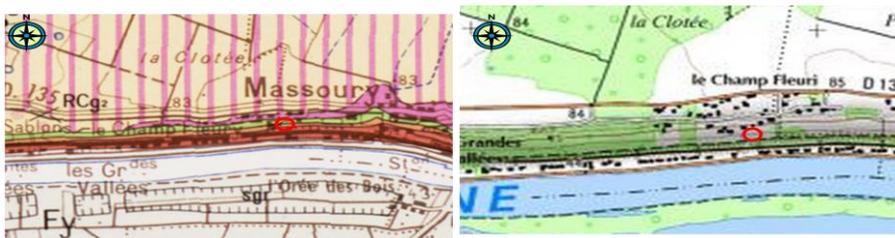


Figure 22 : Carte IGN de Melun au 1/25000 et Carte géologique du BRGM de Melun au 1/50000.

Géologie rencontrée : Calcaire et meulière de Brie sur Marne verte su stampien . Le site est localisé par le cercle rouge

Le terrain est divisé en deux parcelles séparées par une route (figure 23). La première parcelle contient l'habitation et une fosse septique âgée de 28 ans. Cette fosse nécessite l'utilisation d'une pompe pour acheminer les eaux vers la deuxième parcelle. En effet, le dénivelé de la première parcelle est quasiment nul alors que la deuxième, plus pentu, permet l'écoulement des eaux jusqu' à l'exutoire (photo 15). Aucun Travaux n'a été entamé pour installation d'un nouveau dispositif ANC conforme au DTU 64.1.



Photo 10 : Photo du site à droite, ici aussi le terrain est pentu, à gauche regard des eaux prétraitées sorties de la fosse septique.

Les prélèvements et essais ont été effectués comme présentés à la figure 23.

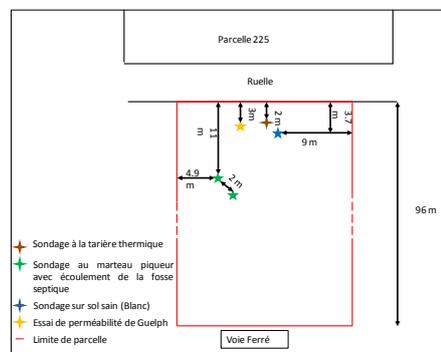


Figure 23 : plan d'implantation des sondages et prélèvement sur le site ANC 3.

Le sondage sur sol sain au marteau-piqueur a permis d'obtenir la succession lithogique suivante (photo:16)



photo 11 : sondage réalisé au marteau piqueur, il est possible d'observer 2 couches, un sol noir riche en Mo , et un sol plus argileux gris à beige.

Le sondage à la tarière thermique utilisé pour le prélèvement n'a pas permis d'identifier les traces de gleysification, car trop destructif. À la profondeur de prélèvement (70-80 cm) le sol était noir et ne présentait pas de trace blanche. Cependant, le sol présentait de nombreux signes d'engorgement.

5.3.3) résultats

Le tableau 37 en annexe 13 récapitule les résultats obtenus en laboratoire et sur le terrain des sites ANC de la commune de Chartrettes. Comme pour les sols de l'Yonne, la capacité d'échange cationique, l'activité argileuse et la surface spécifique sont obtenues à partir de la valeur au bleu (essai au bleu de méthylène). L'observation sur le terrain et l'analyse texturale du sol nous permet d'obtenir d'autres

informations en matière de profil vertical du sol et de conductivité hydraulique. Ces données sont fournies dans le tableau 38, annexe 14.

6) Analyse et interprétation des résultats des sols de la FEPP et des sites ANC de la commune de Chartrettes

6.1) Utilisation du système de notation pour évaluer l'aptitude des sols pour les fonctions en ANC

Le système de notation est testé sur les sites ANC de Chartrettes et sur les prélèvements de sol de la FEPP dans l'Yonne. Ce, dans le but d'obtenir une note d'aptitude pour les fonctions du sol utilisés en système d'assainissement non collectif. Une proposition de filière ANC pouvant être mis en place sera faite.

6.1.1) Site ANC de la commune de Chartrettes.

La carte du BRGM figure 24 nous montre la sensibilité de chaque site en termes de remontée de nappe.



Figure 24 : carte de remontée des nappes (BRGM).

À Gauche, le site 3 (77 ME ANC 23) situé en zone à sensibilité très faible à inexistante, à droite le site 1 (77 ME ANC 21) situé en zone à sensibilité très élevée avec la nappe affleurante, et enfin le site 2 en haut à droite (77 ME ANC 22) situé en zone à sensibilité très faible à inexistante.

Le détail des notations pour ces 3 sites sont données en annexe 15. Le tableau 5 présente les notes obtenues pour chaque fonction propre à chaque site.

Tableau 5 : Tableau des notes obtenues pour chaque fonction du sol ainsi que les filières réalisables et non réalisables pour les sites 77 ME ANC 21, 22,23.

Fonction	77 ME ANC 21		77 ME ANC 22		77 ME ANC 23	
Épuration secondaire	Ac10	Sol inapte (Classe V A)	Ac9	Sol inapte (classe V A)	Bb5 ou Bc5	aptitude médiocre (Classe IV) à inapte (Classe V A)
Évacuation superficielle	Ba3	Bonne Aptitude (Classe II B)	Bb2	Bonne Aptitude (Classe II B)	Cb2 ou Cc2	sol inapte (Classe II B)
Évacuation profonde	Bc	sol inapte (Classe III)	Bc	sol inapte (Classe III)	Cb ou Cc	sol inapte (Classe III)
affinage	Aa10	très bonne aptitude (classe I)	Aa10	très bonne aptitude (Classe I)	Cb5	Sol inapte (Classe V B)
Filières non réalisables	Lit et tranchée d'épandage filtre à sable non drainé.		Lit et tranchée d'épandage, filtre à sable non drainé, terre d'infiltration		Lit et tranchée d'épandage, massif filtrant non drainé, terre d'infiltration	
Filières réalisables	Tertre d'infiltration, massif filtrant drainé		massif filtrant drainé avec évacuation par tranchée de dissipation		filtre à sable drainé avec évacuation dans un exutoire extérieur	

- Site 1 (77 ME ANC 21)

Sur ce site, le sol est inapte à l'épuration secondaire dû à une épaisseur de ZNS insuffisante. La mise en place d'une filière ANC type lit d'épandage ou tranchée d'épandage n'est pas envisageable. Il n'est pas non plus possible d'orienter le choix vers un filtre à sable non drainé, car le sol est inapte à l'évacuation profonde³². Cependant, le sol possède une bonne aptitude pour l'évacuation superficielle et pour l'affinage. Il reste donc deux possibilités : soit la mise en place d'un filtre à sable drainé dans l'horizon superficiel ou dans un exutoire extérieur ou alors choisir un tertre avec évacuation superficielle dans le sol en place. Lorsque nous avons effectué le prélèvement de sol une filière type filtre à sable drainé était en cours de construction avec une évacuation des eaux usées traitées vers un fossé extérieur. Ce dispositif est cohérent avec la note obtenue.

- Site 2 (77 ME ANC 22)

Pour les mêmes raisons que le site 1 il n'est pas possible de mettre en place un lit ou tranchée d'épandage ou un filtre à sable non drainé³³. Le choix s'oriente donc vers un tertre d'infiltration avec évacuation dans le sol en place ou un filtre à sable drainé vers l'horizon superficiel. Cependant, le terrain étant très pentu, le sol doit être terrassé afin que la surface de la base du tertre soit parfaitement horizontale. Le tertre risque alors de se retrouver au contact des marnes situées en dessous des Limons. L'évacuation dans le sol en place ne sera alors plus possible. Le Filtre à sable drainé semble la meilleure solution à condition de l'ancrer dans le sol de manière à ce qu'il soit horizontal (figure 25). Le terrain étant en pente, on pourra profiter de la topographie pour mettre en place des tranchées de dissipation³⁴ avec un épandage à faible profondeur dans les limons des plateaux (Figure 25)³⁵. Un schéma de tranchée de dispersion en vue plan est donné en annexe 17.

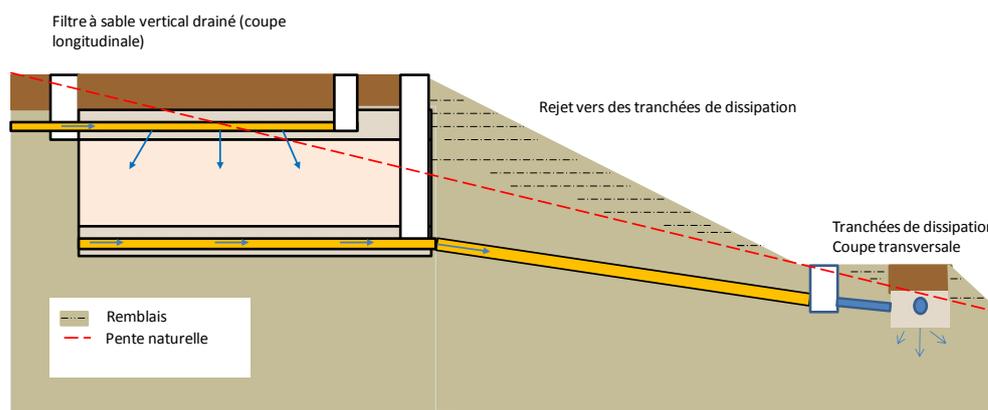


Figure 25 : Dispositif d'un filtre à sable en pente drainé vers une tranchée de dissipation avec évacuation dans l'horizon superficiel (Limon des plateaux).

- Site 3 (77 ME ANC 21)

Ce sol est inapte à toutes les fonctions. Une solution serait de mettre en place un filtre à sable drainé vers un exutoire superficiel. Le terrain est pentu, le massif filtrant devra donc être mis en place de manière à ce que la base du dispositif soit parfaitement horizontale comme pour le site 2. Dans le cas où aucun exutoire extérieur n'est disponible on se trouve en situation de site inapte à l'assainissement non collectif. Bezhad Nasri [BN10-13] a étudié dans le cadre de sa thèse l'action de la présence de cailloux sur l'amélioration de la conductivité hydraulique. Ainsi, dans le cas d'un site inapte à la mise en place d'un dispositif d'assainissement non collectif il sera alors possible d'ajouter un mélange de cailloux au sol en place pour améliorer la conductivité hydraulique du sol. Mais cette méthode est encore à l'étude.

³² Ici, le facteur limitant l'épaisseur de la ZNS est la présence de la nappe sub-affleurante

³³ Ici, le facteur limitant l'épaisseur de la ZNS est l'épaisseur de la couche de limon des plateaux (50 cm) suivi d'une couche marneuse imperméable.

³⁴ Les tranchées de dissipation fonctionnent comme les tranchées d'épandage décrites dans la partie 2.1 (figure 2) et 2.1 (figure 3).

³⁵ Les tranchées d'épandage doivent être réalisées perpendiculairement à la pente. Sur la figure une seule tranchée est représentée, mais il est possible de même plusieurs tranchées en parallèle. L'annexe 10 montre le système d'épandage vue en plan.

6.1.2) sol de la FEPF dans l'Yonne

La carte de remontée des nappes du BRGM nous montre la sensibilité de chaque site en terme de remontée de nappe (figure 26).

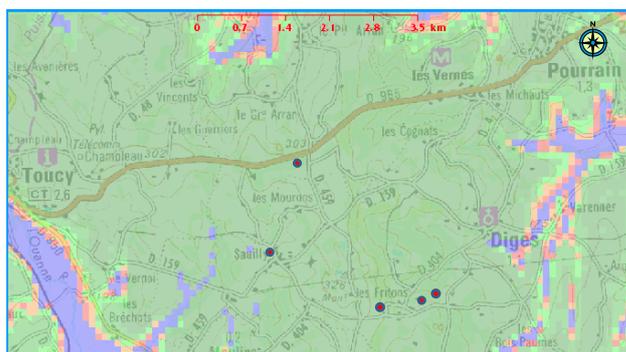


Figure 26 : carte de remontée des nappes BRGM, montre que les sites (en rouge) sont situés en zone à sensibilité très faible à inexistante.

Le détail des notations pour ces 3 sites est donné en annexe 16. Le tableau 6 présente les notes obtenues pour chaque fonction propre à chaque site.

Tableau 6 : Ce tableau donne les notes obtenues pour chaque fonction du sol ainsi que les filières réalisables et non réalisables pour les sites 89 ME ANC 16, 17, 18, 19.

Fonction	89 ME ANC 15		89 ME ANC 16		89 ME ANC 17		89 ME ANC 18		89 ME ANC 19	
Épuration secondaire	Aa10	très bonne aptitude (classe I)	Aa7	très bonne aptitude (classe I)	Cc4	Sol inapte (Classe V B)	Aa3	bonne aptitude (classe II)	Bc5	sol inapte (Classe V A)
Évacuation superficielle	Ba4	Bonne Aptitude (Classe II A)	Ba6	Bonne Aptitude (Classe II A)	Cc4	Sol inapte (classe III B)	Ba5	Bonne Aptitude (Classe II A)	Cc4	sol inapte (classe III b)
Évacuation profonde	Ba	bonne Aptitude (classe I)	Ba	bonne Aptitude (classe I)	Cc	Sol inapte (Classe III)	Ba	bonne Aptitude (classe I)	Cc	sol inapte (classe III)
affinage	Aa5	très bonne aptitude (classe I)	Aa7	très bonne aptitude (Classe I)	Bc5	Sol inapte (Classe V B)	Aa3	bonne aptitude (classe II)	Cc4	sol inapte (classe V A)
Filières non réalisables	-		-		Lit et tranchée d'épandage, tertre d'infiltration, Filtre à sable non drainé		-		Lit et tranchée d'épandage, tertre d'infiltration, Filtre à sable non drainé	
Filières réalisables	Toutes		Toutes		Filtre à sable drainé		Toutes		Filtre à sable drainé	

Les sites 89 ME ANC 15, 89 ME ANC 16 et 89 ME ANC 18 montrent que ces sols ont une bonne aptitude pour les quatre fonctions du sol. A priori, toutes filières ANC pourront être mises en place. Cependant, il conviendra de tenir compte des paramètres environnementaux propres à chaque terrain (pente, captage à proximité, présence éventuelle d'une nappe, taille du terrain ...).

Les sites 89 ME ANC 17 et 89 ME ANC 19 montrent que ces sols sont inaptes pour toutes les filières utilisant le sol en place que ce soit, pour l'épuration ou pour l'évacuation. Dans ce cas la mise en place d'un filtre à sable drainé pourra être mise en place en évacuant les eaux usées traitées vers un exutoire extérieur. Cependant, dans le cas où aucun exutoire extérieur n'est disponible on pourra comme expliqué précédemment améliorer la conductivité hydraulique du sol par ajout de grave.

Sur les trois graphiques, globalement la conductivité hydraulique prédite est sous-estimée par les trois Ks-FPTs. Cependant, pour le sol 17, les trois KS-FPTs donnent une prédiction relativement juste et il en est de même pour le sol 23. Ces trois Ks-FPTs donnent une mauvaise prédiction pour les autres types de sol sauf pour la FPT de Cosby qui prédit correctement le sol 22 et 16. Le rapport b entre la conductivité hydraulique à saturation prédite et la conductivité hydraulique à saturation mesurée donné dans le tableau 7 confirme ces observations. Plusieurs essais réalisés sur un même site lors de la thèse de Bezhad Nasri montre que le rapport entre deux mesures au perméamètre de Guelph dépasse rarement 2. L'intervalle pour b a donc été fixé entre 0.5 (+/- 0.05) et 2 (+/- 0.1) pour sélectionner les bonnes KS-FPTs (en jaune dans le tableau).

Tableau 7 : valeurs du rapport b (Ksm/Ksp) pour les trois Ks-FPTs pour les prélèvements effectués dans la FEPE et Chartrette.

méthodes KS /sol	Ksm/Ksp (b)								
	89 AU ANC 15	89 AU ANC 16	89 AU ANC 17	89 AU ANC 18	89 AU ANC 19	89 AU ANC 20	77 ME ANC 21	77 ME ANC 22	77 ME ANC 23
Cosby et al. (1984) Ksp (m/s)	0,2	0,5	1,5	0,2	0,1	–	3,8	1,5	1,0
Adhikary ksp (m/s)	7,6	3,7	1.0	11.1	9,6	–	7,6	2,9	1,4
ferrer Julia	12,4	6,2	1.91	18.68	17,3	–	10,6	4,8	2,1

Le fait que les 3 fonctions prédisent plus ou moins bien la conductivité hydraulique à saturation est induit par les paramètres pris en compte dans cette prédiction. En effet, la FP ferrer Julia ne tient compte que des sables, la Ks-FPTs d'Adhikary, elle, prend en entrée le pourcentage d'argile et de limon alors que la KS-FPTs de Gosby intègre l'argile et les sables. De plus, certains paramètres tels que la BD (bulk densité) et la MO ne sont pas pris en compte dans ces fonctions ce qui peu également expliquer une mauvaise prédiction. C'est pourquoi dans la deuxième partie seront analysés les Ks-FPT de la catégorie 2.

6.2.2) Analyse des Ks-Fpts de la catégorie 2

Ici sont étudiées les 7 fonctions de pédotransfert dont l'utilisation nécessite la prédiction de la bulk densité (densité apparente) qui est un paramètre d'entrée. Les résultats obtenus en laboratoire (texture, MO) seront utilisés pour prédire les densités apparentes. Les 32 BD-FPTs seront ensuite utilisées pour prédire la conductivité hydraulique avec les paramètres de texture et de matière organique. L'estimation de la BD pour chaque sol est donnée en annexe 19.

Certains couplages ne sont pas performants pour prédire la Ks du sol étudié. De ce fait, la première étape de l'évaluation des Ks-FPTs passe par un traitement des résultats obtenus. Pour chaque sol le rapport b Ksm/Ksp est établi, un seuil est utilisé pour b permettant d'effectuer un traitement des données et de sélectionner une série de couplages de BD-FPTs-Ks-FPTs efficaces.

Nous donnerons l'exemple du sol 15 pour le traitement des données, le traitement des 7 autres sols sera fourni en annexe 20.

- **Traitement préliminaire**

Ici aussi, l'intervalle pour b est fixé entre 0.5 (+/- 0.05) et 2 (+/- 0.1). Les valeurs de b retenues sont en rouge surlignées en rouge (tableau 8). Cette sélection permet de mettre en avant les couples BD-FPTs-KS-FPTs qui prédisent « correctement » la conductivité hydraulique.

Tableau 8 : Tableau des b pour les couples Ks-FPTs-BD-FPTs en rouge surligné, les b « sélectionnés ».

Ksm/Ksp (b)	Méthode KS						
	Brakensiek	Vereecken 1990	Saxton 1986	Saxton 2006	Wosten 1997	Wosten 1999	Campbell
Méthode BD							
Kaur-linear	6115,09	4,68	36,71	308,29	2476,27	10,29	396,29
Kaur-2nd_poly	3768,06	3,78	36,63	211,12	1202,70	9,15	282,25

Kaur-3nd_poly	755,63	<u>1,77</u>	35,99	62,33	115,76	6,07	80,28
Kaur_Intrinsically linear	692,36	<u>1,70</u>	35,93	58,39	102,20	5,93	74,46
Adam	6,16	0,07	13,99	<u>1,58</u>	0,30	<u>1,25</u>	0,12
Rawls	<u>2,09</u>	0,02	<u>1,76</u>	<u>0,51</u>	0,18	<u>0,67</u>	0,00
Perie_B	4,16	0,04	9,12	<u>1,10</u>	0,22	<u>1,03</u>	0,04
Prevost_B	8,19	0,09	17,30	<u>2,03</u>	0,39	<u>1,42</u>	0,23
Federer_A	2,38	0,02	2,86	<u>0,60</u>	0,18	<u>0,74</u>	0,01
Federer_B	9,54	0,11	18,96	2,31	<u>0,45</u>	<u>1,51</u>	0,32
Post and Kwon	74,77	<u>0,49</u>	32,20	11,31	4,93	3,13	7,74
Tremblay	2,53	0,02	3,41	<u>0,65</u>	0,18	<u>0,77</u>	0,01
Benites_B	302,59	<u>1,10</u>	35,14	31,65	32,00	4,73	34,95
Tomasella and Hodnett	5,10	0,06	11,68	<u>1,34</u>	0,26	<u>1,14</u>	0,07
Bernoux et al.	6,13	0,07	13,94	<u>1,58</u>	0,30	<u>1,25</u>	0,12
Leonaviciute (2000): A Horizon	1452,70	2,44	36,34	101,79	296,60	7,20	137,57
Leonaviciute (2000): E Horizon	602,32	<u>1,58</u>	35,83	52,65	83,87	5,71	65,93
Leonaviciute (2000): B Horizon	1679,52	2,61	36,40	113,61	366,30	7,47	154,20
Leonaviciute (2000): BC-C Horizon	51368,90	16,82	36,88	4568,13	342698,34	21,45	2712,71
Saxton et al (2006)	45,45	0,35	30,30	7,81	2,63	2,67	4,11
Curtis and Post	3,73	0,04	7,80	<u>0,99</u>	0,21	<u>0,98</u>	0,03
Alexander (1980)-A	22,99	0,22	26,52	4,65	<u>1,16</u>	<u>2,12</u>	<u>1,53</u>
Alexander (1980)-B	63,74	0,44	31,66	10,05	4,02	2,98	6,36
Federer (1983)	2,43	0,02	3,05	<u>0,62</u>	0,18	<u>0,75</u>	0,01
Huntington et al. (1989)- A	6,35	0,07	14,36	<u>1,63</u>	0,31	<u>1,27</u>	0,13
Huntington et al. (1989)- B	5,70	0,06	13,05	<u>1,48</u>	0,28	<u>1,21</u>	0,10
Manrique and Jones (1991)-A	39,84	0,32	29,69	7,07	2,23	<u>2,56</u>	3,43
Manrique and Jones (1991)-B	19,06	0,19	25,18	4,02	<u>0,94</u>	<u>1,98</u>	<u>1,13</u>
Perie (2008)-A	3,47	0,04	6,91	<u>0,92</u>	0,20	<u>0,94</u>	0,02
Prevost_A	5,45	0,06	12,50	<u>1,42</u>	0,27	<u>1,18</u>	0,09
Drew (1973)	47,18	0,36	30,46	8,03	2,75	2,70	4,32
Benites (2007)-A	490,64	<u>1,42</u>	35,66	45,22	62,79	5,40	54,90

Si l'on classe les KS-FPTS en fonction du nombre de couplages avec la BD -FPTS qui prédisent correctement la KS on observe que :

Brakensiek, Saxton 1986, Wosten 1997 et Campbell présentent des mauvais rapports de b. Au contraire, Saxton 2006 et Wosten 1999 possèdent un nombre important de couplages corrects. Vereecken 1990 présente un nombre moyen de couplages fonctionnels.

Les KS-FPTS possédant le plus de couplages fonctionnels avec les BD-FPTS pour le sol 15 sont saxton 2006 et Wosten 1999.

Les résultats des sols 17,18, 19, 21, 22,23 sont donnés en annexe 19 (respectivement tableau (39, 40, 41, 42, 43, 44,45).

- **Conclusion sur l'utilisation des fonctions de pédotransfert pour prédire la conductivité hydraulique du sol à saturation :**

L'annexe 21 donne pour chaque couplage BD-FPTs- KS-FPTs, les sols dont la conductivité hydraulique est correctement prédite.

Il apparaît que la fonction de pédotransfert Wosten 1999 est celle qui fonctionne le mieux couplée avec plusieurs BD-FPTs et pour tous les types de sols (144 couples fonctionnels).

Suit Saxton 2006 avec 56 couples fonctionnels. Puis wosten 1997, Vereecken et Campbell avec 37 couples fonctionnels et enfin Brackensiek et Saxton 1986 avec respectivement 24 et 19 couples fonctionnels.

La diversité des résultats montre la difficulté d'utiliser ces fonctions de pédotransfert. En effet, il a été établi que ces fonctions empiriques ne devraient être utilisées que pour le type de sol sur lesquels elles ont été établies et ne devraient pas être utilisées dans un autre contexte « géopédologique » car on augmenterait considérablement le risque de biais.

Plusieurs études ont été réalisées par l'unité de science du sol de l'INRA qui utilise des fonctions de pédotransfert pour estimer la capacité de rétention d'eau d'une grande quantité d'échantillons de sol. Les résultats de prédiction de la capacité de rétention prédite ont ensuite été comparés aux capacités de rétention mesurée disponible dans la base de données SOLHYDRO. Cette comparaison permet d'obtenir pour chaque échantillon de sol des classes de fonctions de pédotransfert calibrées pour estimer leur capacité de rétention³⁶.

L'idée serait donc dans notre cas de déterminer des classes de fonctions de pédotransfert (couplage BD-FPTs-KS-FPTs) pour plusieurs types de sol et de mettre en place une base de données. Cette base de données permettrait d'obtenir une valeur de conductivité pour un sol sur lequel la mesure n'a pas pu être réalisée. Plusieurs informations pourraient être disponibles pour un chaque type de sol : les fonctions de pédotransfert sélectionnées, les résultats d'analyses en laboratoire correspondantes (MO, texture...) ainsi qu'une description détaillée du profil de sol (présence de cailloux, hydromorphie, agrégat...). Ces informations permettront d'être certains que le sol dont nous cherchons à connaître la conductivité hydraulique correspond bien au sol de la base de données. C'est-à-dire qu'il faut chercher à avoir des prédictions plus précises en étant exigeant sur les caractéristiques du sol à prendre en compte.

Cependant, la mise en place d'une telle base de données nécessite la réalisation d'un grand nombre de prélèvements, d'essais en laboratoire, et d'essais in situ de conductivité hydraulique pour évaluer la variabilité spatiale d'une même formation.

³⁶ Information issue des références [BRU04],[MA07],[AL05]

CONCLUSION :

Les Indicateurs déterminés par Bezhad Nasri lors de sa thèse au Leesu dans le cadre du projet ANCRES devraient permettre sur le long terme de créer 3 outils:

- Une Système de notation qui est une aide à la prise de décision pour le choix d'une filière ANC.
- La création d'une base de données qui elle fournit une aide à la décision pour les gestionnaires de la région étudiée. Les paramètres de la base de données (KS, résultats de laboratoire, fonction de pédotransfert...) permettent d'effectuer un zonage en termes d'assainissement non collectif ou collectif. Par exemple dans le cas d'une demande de financement par un gestionnaire cette base fournit les informations nécessaires pour savoir si la construction d'une filière ANC est en adéquation avec le sol et le régime des nappes.
- Un prototype de SIG a été créé par le stagiaire Pierre Emmanuel Le Cadre. Il fournit une aide à la décision pour les usagers afin qu'il ait connaissance des caractéristiques de leur terrain et de la possibilité de réaliser un ANC chez eux.

Cependant, la mise en place d'une telle base de données nécessite un grand nombre d'échantillonnage, d'observation de terrain, d'essai de perméabilité et de laboratoire.

Nous avons vu lors de mon stage qu'il est possible de réaliser des échanges de données et d'échantillon avec les chambres de l'agriculture qui réalise de grandes campagnes de prélèvement pour réaliser des cartes pédologiques. La difficulté réside essentiellement sur l'importance de réaliser des essais suivant des méthodes compatibles. Les résultats montrent que pour la teneur en carbonate et la surface spécifique la corrélation entre les deux méthodes est correcte. Pour la matière organique, il serait nécessaire de réaliser des comparaisons supplémentaires.

Il à également été montré qu'il est possible d'aboutir à la non-faisabilité d'une filière d'assainissement collectif. Il faudra donc à l'avenir approfondir la question de l'amélioration du sol en place par ajout de grave pour améliorer la conductivité hydraulique développée durant la thèse de Bezhad Nasri.

BIBLIOGRAPHIE

- A.BRUAND, O.DUVAL, I.COUSIN. «Estimation des propriétés de rétention en eau des sols à partir de la base de données SOLHYDRO.» *Etude et Gestion des Sols*, n° 11 (2004): 323-333.[BRU04]
- A.MERMOUD. *Cours de physique du sol: Ecole polytechnique fédérale de Lausanne*. 2006.[AM06]
- A.RASOULZADEH. «Estimating hydraulic conductivity using pedotransfer functions.» Édité par prof.Laskshmanan Elango. *Hydraulic conductivity-issues, determination and applications.*, Novembre 2011: 145-164.[RAS011]
- Agro transfert, chambre de l'agriculture de Picardie. «Mémento sol et matière organique.» 2007: 1-52.[CAP07]
- AFNOR. «Norme ISO /TS 17892-2 : Reconnaissance et essais géotechniques. Essais de sol au laboratoire-partie 2: détermination des limites d'Atterberg.» 2004.[ISO/TS 17892-2]
- AFNOR. «Norme NF ISO 10693 : Qualité du sol. Détermination de la teneur en carbonate. Méthode volumétrique.» 1995.[NF ISO 10693]
- AFNOR. «Norme NF ISO 11465: qualité du sol . Détermination de la teneur pondérale en matière sèche et en eau. Méthode gravimétrique.» 2004.[NF ISO 11465]
- AFNOR. «Norme NF ISO 14 35: Qualité du sol. Dosage du carbone organique par oxydation sulfochromique.» 1998.[NF ISO 14 35]
- AFNOR. «Norme NF P 94-048 : Sols : reconnaissances et essais. Détermination de la teneur en Carbonate. Méthode du calcimètre.» 1996.[NF P 94-048]
- AFNOR. «Norme NF P 94-068: Sols : Reconnaissance et essais. Mesure de la capacité d'adsorption de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériaux rocheux par essai à la tâche.» 1998.[NF P 94-048]
- AFNOR. «Norme NF P94-057 : Sols: reconnaissance et essais. Analyse granulométrique des sols. Méthode par sédimentation.» 1992.[NF P 94-057]
- AFNOR. «Norme NF X 31-107 : Détermination de la distribution des particules de sol. Méthode à la pipette.» 2003.[NF X 31-107]
- AFNOR. «Norme XP 94-105 : Contrôle de la qualité de compactage.» [XP 94-105]
- AFNOR. «Norme XP 94-047 : Sols : Reconnaissance et essais. Détermination de la teneur pondérale en matière organique d'un matériaux. Méthode par calcination.» 1998.[XP 94-047]
- AFNOR. «Norme: XP DTU 64.1 : Mise en oeuvre des dispositifs d'assainissement non collectif.» 2007.[XP DTU 64.1]
- Association française pour l'étude de sol. «Référentiel pédologique 2008.» *QUAE*, 2008.[RF08]
- B.JABIOL. «caractéristique physique des couvertures pédologique.» *FIF-ENGREF*, 2003.[BJ03]
- B.NASRI. «Evaluation des fonctions de pédotransfert d' un sol hétérogène, milieu récepteur d'eau usée traitée, sur un site pilote dédié.» 2010-2013.[BN10-13]
- B.NASRI. «the emerging pollutants and individual wastewater treatment system: what about the role of soil in purifying the treated wastewater?» *ADOSOM-Cannes*, 2011.[BN011]
- BRIGAND S, LESIEUR V. Assainissement Non Collectif, *Le Moniteur*. 257p. *Assainissement Non Collectif*. Le moniteur, 2008.[BR08]
- Chambre de l'agriculture du Tarn. «Guide pour la description et l'évaluation de la fertilité des sols.» novembre 2008: 1-37.[CAT08]
- Chambre de l'agriculture du Bas-Rhin. «La fertilité des sols: l'importance de la matière organique.» *Agriculture et Territoire*, Décembre 2011: 1-46.[CABR011]
- Conseil général de l'Yonne. «Schéma départemental d'assainissement de l'Yonne.» septembre 2011.[CGY011]
- C.AMAMOU. «Modèle de terrain pour l'étude des performances épuratoires des sols naturels.» 2012.[AM012]

- C.FRIPPIAT. «Vers un outil d'aide à la décision et de planification de l'assainissement autonome en région Wallonne.» *La tribune de l'eau*, 2004.[FRI04]
- C. FRIPPAT. *Carte d'aptitude du sol à l'évacuation souterraine des eaux usées traitées, Rapport final*. Laboratoire de géopédologie, Gembloux faculté universitaire des sciences agronomiques, Groupe SAIWE, 2006.[FRI06]
- C.LACHERE. «Les essais de Porchet.» *ADOPTA*, 2012.[LAC012]
- CAMUZARD, J.P. *Les fonctions du sols (cours agroparitech)*. ENGREF PARIS, 2001.[CAM01]
- D.BAIZE. *Guide des analyse en pédologie: Choix-expression,présentation-interprétation*. INRA, 2000.[BA00]
- D.BAIZE. «La cartographie des "petites régions naturelles" et des "paysage pédologiques". Application dans le département de l'Yonne.» *Annales de géographie*, n° 105 (1996): 319-329.[BA96]
- D.BAIZE. «Les sols des plateaux jurassique de basse bourgogne (YONNE).» *INRA*, 2011.[BA011]
- D.BAIZE, J.P.VOILLIOT. «la cartographie des sols de l'Yonne à 1/50000.» *Science du sol*, 1989: 25-28.[BA89]
- D.E ELRICK, WD REYNOLDS, KA TAN. «Hydraulic conductivity measurements in the unsaturated zone using improved well analyses.» *GWRM*, 1989: 184-193.[EL89]
- D.XANTHOULIS. «Physique du sol.» Édité par FUSAGX. *Unité hydrologie et hydraulique argiole*. [DX08]
- F.BIGORRE, D.TESSIER, G.PEDRO. «Contribution des argiles et des matières organiques à la rétention de l'eau dans les sols. Signification et rôle fondamental de la capacité d'échange en cations.» *Compte rendu de l'académie des sciences-Series Earth and Planetary science-*, n° 330 (2000): 245-250.[BI00]
- F.DROUET. «Evaluation de la perception des fonctions du sol par les particuliers et de l'impact environnemental de leurs usages du sol: construction et réalisation d'enquêtes.» 2011.[DR011]
- G.J.BOUYOUCOS. «A comparison of the hydrometer method and pipette method for making mechanical analysis of soils, with new directions.» *Contribution from the soil section, Michigan state college.*, 1930.[BOU30]
- G.THOMAS. «Infiltration de l'eau dans les sols: Développement et utilisation d'infiltromètres.» 2011.[TH011]
- H.AIMAJOU, .BRUAND, O.DIVAL, I.COUSIN. «Comparaison de fonction de pédotransfert nationales et européennes pour prédire les propriétés de rétention en eau des sols.» *Etude et Gestion des Sols*, n° 14 (2007): 103-116.[AL07]
- H.ALMAJOU, A.BRUAND, B.NICOULLAUD, O.DUVAL, J.DUPONT. «Premier résultats de validation des classes de pédotransfert établies à partir de la base de données SOLHYDRO 1.0. Application à des sols de la région centre.» *Etude et Gestion des sols* 12 (2005): 221-228.[AL05]
- J.ESTEOULE-CHOUX. «Etude en microscopie électronique à balayage de quelques kaolins d'origine différentes : apports de cette technique pour la compréhension de leurs genèses.» *Clays Minerals*, n° 16 (1981): 279-288.[EST81]
- J.FAERBER. *Microscopie électronique à balayage et microanalyse X par sonde électronique*. IPCMS (institut de physique et chimie des matériaux de strasbourg), 2004.[FA04]
- Jubilé scientifique. *Mélanges offerts à Stéphane Hémin: sol-agronomie-environnement*. ORSTOM, 1990.[JS90]
- L.ROLLAND, A.GAUCHI, C.VIGNOLES. «Retour de terrain d'investigations au coeur de 500 filtres à sables avec l'outil INVESTIG'+.» *L'eau, l'industrie, Les nuisances*, n° 355: 119-128.[LR01]
- L.ROLLAND, C.VIGNOLES. «INVESTIG'+ : de vraies informations issues du coeur des filtres.» *L'eau, l'industrie, les nuisances.*, n° 355: 109-116.[LR02]
- LANO (laboratoire Agronomique de Normandie). *Analyses terres (calculim, capacité d'échange cationique, matière organique, analyse granulométrique)*. [LANO]

- M.L.JACKSON. «Kaolinite intercalation procedure for all sizes and types with X-RAY diffraction spacing distinctive from other phyllosilicates.» *Clay and Clay minerals*, 1977: 81-87.[JA77]
- M.N.BOLSHANOV, N.A.SHIBITSKAYA, V.A.KUZMIN. «Investigation of the pore space structure by a scanning electron microscope using the computer program collector.» *Journal of surface investigation* 1, n° 4 (2007): 493-496.[BOL07]
- M.RAUTUREAU, S.CAILLERE, S.HENIN. *Les argiles*. Stepima, 2004.[RAU04]
- MATHIEU C., PIELTAIN F. *Analyse physique des sol : Méthodes choisies*, Lavoisier Technique & Documentation. Paris: lavoisier, 1998.[MA98]
- O.FOUCHÉ-GROBLA. «Projet ANCRES: mise en place d'un indicateur intégratif pour la gestion du potentiel épurateur des sols soumis à l'infiltration en assainissement non collectif. présentation de projet.» 2010.[OFP10]
- O.FOUCHÉ-GROBLA. «projet ANCRES:mise en place d'un indicateur intégratif pour la gestion du potentiel épurateur des sols soumis à l'infiltration en assainissement non collectif .Rapport intermédiaire.2012[OFI12]
- P.BREUL, R.GOURVE. «Caractérisation endoscopique des milieux granulaires couplés à l'essai de pénétration.» *Revue française de géotechnique* 91 (2000): 27-35.[BR00]
- P.BREUL, R.GOURVE. «In field soil characterization approach based on texture image analysis.» *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering* 132, n° 1 (2006): 102-107.[BR06]
- P.BREUL, R.GOURVE, Y.HADDANI. «Géoendoscopie: caractérisation des géomatériaux par traitement et analyse d'image.» *revue française de génie civil: recherche et innovation en génie civil*. 6 (2002): 85-100.[BR02]
- RECYVAL-SIGALES. «cartographie de l'aptitude des sols à l'épandage sur le parc naturel régional du vercors.» 2002.[CAP02]
- S.CAILLERE, S.HENIN, M.RAUTUREAU. *Minéralogie des argiles, volume I et II*. MASSON, 1982.[CA82]
- Soil Moisture. «Guelph permeameter : operating instructions.» decembre 2012: 1-60.[SM011]
- S.HENIN. *Cours de physique du sol. Volume I et II*. ORSTOM paris, EDITEST Bruxelles, 1976.[SH76]
- T.K.LUI, R.T.ODELL, W.C.ETTER, T.H.THORNBURN. «A comparaison of clay contents determined by hydrometer and pipette methods using reduced major axis analysis.» 1966.[LUI66]
- T.OLAF, H.VOLKER. «accuracy of saturated hydraulic conductivity prediction by pedo-transfer functions compared to the variability within FAO textural classes.» *Geoderma*, n° 69 (1996): 71-84.[OL96]
- University of tennessee. «présentation: Topics b,c Electron microscopy.» <https://oit.utk.edu>. 2004.[UT04]
- UNIFA : Union des Industries de la Fertilisation. «Fiche calcuim-magnésium.» *Ferti-pratique* , 27-30.2005.[UNIFA05]
- V.HALLAIRE, JP.COINTEPAD. «Caractérisation de la macroporosité d'un sol de verger par analyse d'image.» Édité par INRA. *Agronomie*, 1993: 155-164.[HAL93]
- Y.HADDANI, P.BREUL, R.GOURVES. «Learning method for i,-situ soil classification based on texture characteristics.» *Geotechnical testing* 32, n° 6 (2009): 526-536.[HAD02]
- Y.HADDANI, P.BREUL, R.GOURVES, P.BONTON. «Geoendoscopie: application au diagnostic des réseaux techniques urbains souterrains en service.» *JNGG* , octobre 2002: 1-11.[HAD09]
- Z.B.LIU, B.SHI, H.I.INYANG, Y.CAI. «Magification effects of interpretation of SEM images of expansive soils.» *Engineering geology*, n° 78 (2005): 89-94.[LIV05]

Glossaire :

DBO5 : demande biochimique en oxygène pendant 5 jours.

DCO : carbone organique dissous

Indicateur : Il s'agit d'un outil d'évaluation et d'aide à la décision (pilotage, ajustements) à partir duquel il est possible de mesurer une situation ou une tendance, de façon relativement objective, dans le temps et/ou l'espace. Un indicateur, pour être efficace, doit répondre à plusieurs critères :

- Il répond à un protocole de mesure généralisé, c'est-à-dire accepté et utilisé par tous. Dans ce cas, le protocole est sans doute déjà normalisé. Hélas, il n'est pas rare qu'un paramètre fasse l'objet de plusieurs normes, selon le pays, le secteur économique, ou la discipline scientifique sous-jacente.
- Il est simple à mettre en œuvre, compréhensif par des acteurs aux points de vue distincts.
- sa précision permet de délimiter des classes dans la gamme des valeurs possibles.
- Il présente un coût acceptable par rapport au service qu'il rend, et il est faisable dans un délai court dans par un laboratoire muni d'un équipement moyen.
- Il est pertinent par rapport à l'objectif fixé.

Les indicateurs doivent suffire à qualifier ou évaluer le phénomène étudié, et ceci dans la plupart des cas susceptibles d'être rencontrés pour ce phénomène.

Gley : Dans la classification des sols (CPCS, 1967), le gley désigne un horizon, sensible à la durée de l'engorgement (engorgement prolongé) et la prépondérance de la réduction sur l'oxydation; ce qui se traduit par des teintes dominantes grises, verdâtres ou bleutées, qui caractérisent l'horizon et peut être expliqué par la présence d'une nappe qui explique un engorgement quasi permanent. Le fer libre est le plus souvent sous forme ferreuse.

Gley réoxydé : horizons réductiques temporairement réoxydés , la saturation en eau est interrompue périodiquement. Des taches de teintes rouille, souvent pâles, sont observables pendant les périodes de non-saturation, au contact des vides, des racines .

Histosol : sol constitué de matériaux tourbeux composé de matière organique et d'eau.

MES : Matière en suspension

Pseudogley : Dans la classification CPCS (1967), il s'agit d'un horizon à engorgement périodique dans lequel se produit une alternance de réduction et d'oxydation avec redistribution du fer. Cet horizon est caractérisé par des taches ou des bandes grisâtres et ocre ou rouille. Le pseudogley désigne aussi très souvent un sol à nappe temporaire perchée d'origine pluviale et, de ce fait, distinct du gley qui est considéré comme étant un sol dont la formation est due à l'action d'une nappe phréatique permanente (Duchaufour, 1977).

réductisols et des rédoxisols : solums dans lesquels les processus d'oxydo-réduction sont jugés prédominants, sinon exclusifs. Ce GER rassemble les solums pour lesquels les traits d'hydromorphie rédoxiques ou réductiques (toujours fonctionnels) débutent à moins de 50 cm de la surface, puis se prolongent es solums à caractères hydromorphes (au sens large) présentent des caractères attribuables à un excès d'eau. Ce dernier peut être dû au seul défaut de perméabilité d'horizon(s) qui empêchel'infiltration des précipitations dans le solum ou résulter de la concentration dans ce dernier de flux d'origine extérieure (inondation, ruissellement, transferts latéraux, remontée d'une nappe souterraine).

Zone Humide : Les solums rattachés aux réductisols, aux rédoxisols et en doubles rattachements avec les rédoxisols sont tous susceptibles d'être considérés comme caractéristiques des zones humides telles que définit à l'article 1 du décret n° 2007-135 du 30 janvier 2007: Les critères à retenir pour la définition des zones humides sont relatifs à la morphologie des sols liée à la présence prolongée d'eau d'origine naturelle et à la présence éventuelle de plantes hygrophiles. En l'absence de végétation hygrophile, la morphologie des sols suffit à définir une zone humide.