

PROJET ANCRES

MISE EN PLACE D'UN INDICATEUR INTEGRATIF POUR LA GESTION DU POTENTIEL EPURATEUR DES SOLS SOUMIS A L'INFILTRATION EN ASSAINISSEMENT NON COLLECTIF.

Responsable de projet : FOUCHÉ-GROBLA Olivier
Nom d'usage : FOUCHÉ Olivier
olivier.fouche@cnam.fr
Mob : 06 32 59 57 46

LEESU
Laboratoire Eau Environnement et Systèmes Urbains
Université Paris-Est – Ecole des Ponts ParisTech – AgroParisTech
6 et 8, avenue Blaise Pascal - Cité Descartes
F 77455 Marne-la-Vallée Cedex 2
Secrétariat 01 64 15 36 25

Rapport intermédiaire d'activité
16 juillet 2012

RESUME - TRAVAUX EFFECTUES DEPUIS 18 MOIS

Mots clés : perception – conflictualité – bilan hydrologique – texture – hétérogénéité – pédotransfert – activité enzymatique – polluants émergents – pilote in situ – colonne expérimentale.

Dans le cadre du projet de recherche ANGRES, on s'intéresse aux fonctions de rétention et épuration par le sol, milieu récepteur des eaux usées traitées en assainissement non collectif, ainsi qu'au transfert au milieu récepteur souterrain (l'aquifère) et superficiel (le réseau de drainage). Nos terrains d'action se situent en Bourgogne et en Ile-de-France. Le projet aborde des questions réglementaires, politiques et sociologiques de l'ANC, auxquelles font écho les questions hydrauliques et pédologiques posées par l'évacuation, dans le sol, des eaux déjà traitées.

Quelle perception les usagers de l'ANC ont-ils des sols, de leur valeur et de leurs fonctions ? Quel rapport entretiennent-ils avec le dispositif technique implanté dans le sol de leur parcelle et cela influence-t-il leur connaissance ou leur point de vue sur le sol ? Quelle relation ont-ils avec le service public chargé de mettre en œuvre la nouvelle gestion de l'ANC, donc d'intervenir sur les parcelles privées, et comment les techniciens et les gestionnaires de ce service abordent-ils leur mission ? Quelles formes de conflictualité naissent ou évoluent dans la gestion du patrimoine sol utilisé pour ses fonctions de rétention et épuration ? C'est au moyen d'enquêtes en vis-à-vis, par voie postale, et par des entretiens semi-directifs que nous abordons ces questions.

La gestion des sols dépend, s'agissant d'ANC, d'une politique de gestion des eaux. On a donc commencé par là. On a réalisé une étude de **bilan hydrologique** complet prenant en compte les données sur la consommation d'eau et l'assainissement dans le cadre de la mise en place du SAGE sur un **bassin versant vulnérable** de Bourgogne. Après cette étude de faisabilité, on a travaillé sur un autre bassin moins vulnérable et offrant une plus **grande diversité pédologique**, le bassin de l'Ouanne, affluent de l'Yonne.

Sur le bassin d'intérêt, une première campagne de terrain en 2011 sur 8 parcelles a consisté à : 1. effectuer des **essais in situ d'infiltration** (4 types d'essais comparés), de résistivité électrique (contrastes lithologiques), de pénétrométrie (stratification du sol) et d'endoscopie (images de 3 mm sur 5 mm) ; 2. prélever à la tarière manuelle 5 à 10 kg de sol entre 70 cm et 90 cm de profondeur pour effectuer des **tests de caractérisation des sols** au laboratoire : densité, limites d'Atterberg, pycnométrie, granulométrie, sédimentométrie, teneur en carbonate, capacité d'adsorption totale (bleu de Méthylène), capacité d'adsorption intergranulaire (N2). Ceci a permis : d'une part, de juger de l'intérêt d'une batterie de tests classiques de caractérisation des sols, donnant des paramètres susceptibles de servir d'**indicateurs des fonctions écosystémiques** du sol mises en jeu en ANC et pouvant intervenir dans l'élaboration d'une **fonction de pédotransfert pour un sol complexe** ; d'autre part de tester le potentiel de techniques plus élaborées comme le BET et l'imagerie MEB. Un travail d'algorithmique et de programmation a produit un outil de calcul Scilab qui classe des objets géométriques en 3D sur le critère de l'orientation afin de **modéliser la texture** d'un matériau, **son hétérogénéité ou ses discontinuités**. Il pourra s'appliquer sur des jeux de fissures dans le sol, par exemple, ou sur l'analyse des formes dans une image MEB.

Ce travail sur la texture ne sert pas seulement une meilleure compréhension hydraulique du système : il est utile aussi en termes de **synergie avec le suivi biologique et chimique**. Ainsi, une seconde campagne en 2012 a consisté à prélever des échantillons (100 à 300 g) de sols utilisés en traitement secondaire ou tertiaire, donc contaminés par les eaux usées, en vue d'**analyses chimiques** (azote, phosphore, carbone, métaux, parabènes) **et enzymatiques**. Ces prélèvements ont été faits en partie sur les mêmes parcelles que la première campagne, à plusieurs profondeurs.

Nous avons mis en place les protocoles et réalisé les **dosages des activités enzymatiques** – celles de la β -glucosidase, de la β -glucosaminidase, de l'alkaline phosphatase, de l'acide phosphatase, de l'aryl sulfatase et de l'uréase – dans 8 échantillons de sols soumis à l'infiltration d'eaux usées traitées issues d'un dispositif d'assainissement non collectif et prélevés à des profondeurs allant de 50 à 120 cm. Ces enzymes, secrétées par les bactéries du sol, sont présentes dans la solution du sol sous forme libre. Le choix des enzymes testées s'est fait en fonction de leur intérêt pour la **dégradation de la matière organique** (cycle du carbone, cycle de l'azote, cycle du phosphate et cycle du soufre) et de la simplicité des protocoles opératoires. La détermination de ces activités enzymatiques sur un échantillon de sol permet de mieux connaître la qualité des eaux qui s'infiltrent et leur niveau d'épuration au cours du transit vers les eaux souterraines. Le protocole élaboré pour le **dosage des parabènes et du triclosan** dans les sédiments dans le cadre d'une thèse en cours a été adapté aux sols et donne de bons résultats sur nos échantillons. Par ailleurs, on a collaboré avec Delft et Gent (laboratoires universitaires spécialisés dans le traitement de l'eau) au montage d'un modèle physique d'**infiltration en colonnes expérimentales de sable** avec des eaux contenant des molécules pharmaceutiques, destinée à discriminer le **rôle respectif de la biodégradation et de l'adsorption dans l'épuration**.

En parallèle de ces travaux sur les sols, on a construit un **dispositif d'assainissement pilote** équipé de **tensiomètres, de sondes de profil de teneur en eau, et de plaques poreuses** enfouies dans le sol et reliées à des pompes. Ce **site pilote** installé à Ouanne offre actuellement la possibilité de **prélever 3 types d'eaux** (eau de sortie de fosse septique, eau traitée par filtration, eau affinée par le sol sous-jacent). Des **analyses chimiques (majeurs, métaux, parabènes, triclosans) ont commencé** et seront poursuivies sur ces eaux en vue de quantifier l'efficacité épuratoire du sol à différents niveaux. Ce site pilote est un outil unique qui servira de point d'appui pour lancer prochainement de nouveaux projets pour étudier le transfert des polluants à la nappe et au milieu superficiel et estimer l'impact sur les compartiments du milieu récepteur.

SOMMAIRE

Sommaire détaillé

1. INFORMATIONS GÉNÉRALES CONCERNANT LE PROJET
2. ÉTAT D'AVANCEMENT DES TRAVAUX
3. COMMENTAIRE DES DIFFÉRENTES TÂCHES
 - Perception des fonctions du sol par les usagers de l'assainissement non collectif
 - Le SPANC : contrôle et gestion des risques environnementaux et sanitaires
 - Bilan hydrologique d'un bassin versant vulnérable et prévision des crises
 - Caractérisation de la texture des sols
 - Analyse et modélisation géométrique de texture
 - Mise en œuvre et comparaison des tests d'infiltrométrie
 - Tomographie de résistivité électrique
 - Mesure des concentrations en oxygène gazeux dans les filtres
 - Modèle de terrain pour l'étude des performances épuratoires de sols naturels
 - Conception d'un pilote instrumenté pour l'étude des fonctions du sol en ANC
 - Suivi chimique des eaux prélevées sur le site pilote à différents niveaux
 - Prélèvement et analyse d'échantillons de sols
4. CALENDRIER PRÉVISIONNEL DE FIN DE PROJET
5. STRATÉGIE DE PARTENARIAT AVEC LE MONDE SOCIO-ECONOMIQUE ET PERSPECTIVES EN TERMES DE TRANSFERT
6. PERSPECTIVES DE VALORISATION DES TRAVAUX
7. BIBLIOGRAPHIE

Sommaire des figures

L'ensemble des figures occupe environ 5 pages sur 23.

<i>Figure 1. Exemple de question sur les fonctions des sols. A. Pensez-vous que l'on puisse attribuer une valeur autre que financière à un sol ? B. Laquelle ?</i>	10
<i>Figure 2. Bilan hydrologique du bassin versant de l'Arroux. Si l'on admet que l'ETR est correctement estimée par la formule de Coutagne, le bilan hydrologique induit une variation du stock d'eau de 62 mm. En estimant l'écoulement souterrain et l'export par le canal, le déficit est ramené à 39 mm et représente 11 % de la pluie nette Pn ou pluie efficace.</i>	11
<i>Figure 3. A. Log de 110 cm effectué à Chassy (Yonne). L'altération de la craie (claire, en bas) a produit un mélange d'argiles plus près de la surface. Le gradient de l'altération se différencie par la couleur. B. Charte d'identification du volume de bleu de méthylène adsorbé par le sol.</i>	12
<i>Figure 4. A. Courbe d'adsorption d'azote N₂ interprétée selon la méthode BJH : surface de pore en fonction du diamètre des pores. La surface spécifique est l'intégrale de cette courbe divisée par la masse totale de l'échantillon sec.</i>	12
<i>Figure 5. Agrégats de particules d'illite et de kaolinite minoritaire vus au MEB dans deux types de sols. A. Matrice argileuse d'un sol de colluvions de grave calcaire. B. Texture de la formation des « sables de Puisaye ».</i>	13
<i>Figure 6. Distribution des plans simulés dans une configuration à 6 familles obtenues par application de l'algorithme EM sur une population de fissures réelle.</i>	13
<i>Figure 7. Courbe type de la décroissance du flux d'infiltration à teneur en eau croissante : le flux tend vers la « conductivité hydraulique à saturation ».</i>	14
<i>Figure 8. Classement des sols en fonction de leur conductivité hydraulique à saturation.</i>	14
<i>Figure 9. Profil de résistivité électrique obtenu autour d'un filtre à sable, mettant en évidence les variations de la nature du sol en amont et en aval.</i>	15
<i>Figure 10. Texture argileuse et limoneuse d'un sol utilisé pour ses fonctions de filtration-épuration sous des tranchées filtrantes. Vue par endoscopie, largeur de la fenêtre 5 mm.</i>	16
<i>Figure 11. Dispositif pilote d'ANC : vue perspective de la fosse contenant le sable filtrant, les drains d'épandage (horizontaux) et les instruments de mesure hydropédologique (verticaux) : tensiomètres et sondes de profil de teneur en eau.</i>	18
<i>Figure 12. Illustration des effets de matrice pour les mesures de parabènes et triclosans. L'ionisation des composés diminue en présence de composés interférents dans la source ce qui se traduit par une perte de signal pour une même concentration. Ici, le premier est un composé étalon. Ensuite viennent des échantillons d'eaux prélevés dans une matrice de fosse septique diluée, dans le sol, dans le massif filtrant, puis des échantillons de sols (EGL, CHE). Le signal diminue selon la nature de la matrice (on voit les intensités de pic à droite).</i>	19
<i>Figure 13. Schéma de la méthode de prélèvement des échantillons de sols.</i>	20
<i>Figure 14. Activités enzymatiques comparées entre le sol sous l'ANC et le blanc du sol à distance.</i>	22

1. INFORMATIONS GENERALES CONCERNANT LE PROJET

Date d'engagement : JANVIER 2011

Durée : 36 mois

Financement : 815 450 euros

Montant MEDDTL/ADEME: 224 664 euros

Co-financement(s):

Le Cnam		
Ecole des Ponts		
Irstea		
Cete IDF - Ministère		
Polytech Clermont-Fd		

• *Participants au projet*

Cnam	MDC	Hamouche	Zehoua
Cnam	IE	Faucheux	Guillaume
Cnam	IE	Lefrançois	Patrice
Cnam	IR	Giraud	François
Cnam	IR	Lépinasse	Geneviève
Enpc - Cnam	MDC	Fouché	Olivier
Enpc	IE	De Laure	Emmanuel
Enpc	IR	Saad	Mohamed
Enpc	IR	Caupos	Emilie
Enpc	Chercheur contractuel	Saillé	Christophe
Enpc	Chercheur contractuel	Seidl	Martin
Enpc	CR	Deroubaix	José-Frédéric
Enpc	Doctorant	Nasri	Behzad
Enpc	Doctorant	Naah	Marielle
Poly	MDC	Morvan	Mathilde
Poly	MDC	Breul	Pierre
Cete IdF	CR	Ramier	David
Cete IdF	IDTPE	Berthier	Emmanuel
Irstea	IAE	Forquet	Nicolas
Irstea	IE	Dubois	Vivien
Irstea	IDAE	Boutin	Catherine

2. ETAT D'AVANCEMENT DES TRAVAUX

Le projet en est globalement à plus de la moitié dans son exécution. Les données acquises au cours des campagnes de terrain sont nombreuses et sont à ce jour insuffisamment interprétées. La deuxième partie du projet mettra donc l'accent sur l'exploitation des données acquises et on renoncera à une partie de l'acquisition de nouvelles données, notamment de la tâche n°8. Certains protocoles restent à valider, notamment concernant le prélèvement et l'analyse chimique d'eaux de divers sites encore à trouver (tâche n°4) et le suivi dans le temps des micropolluants organiques.

TABLEAU 1 : ETAT D'AVANCEMENT DES TACHES PREVUES DANS LE PROJET

Tâche	Terminée le	En cours ¹	Reportée au ²	Abandonnée
1. Elaboration du plan de travail détaillé	Juin 2011	100		
2. Conception et réalisation des enquêtes	Juin 2012	100		
3. Sélection sites et validation protocoles		80%		
4. Description de l'état initial et mise en place du suivi temporel discret		20%	juin 2013 au lieu de sept. 2012	
5. Caractérisation de l'infiltration, instrumentation de 1 site pour bilan hydr.		100		Réduite donc achevée
6. Définition des indices, 2 ^{ème} vague de mesures, suivi temporel continu de 1 site		10%		
7. Construction de l'indicateur et choix de 20 sites tests pour la tâche 8.		0%		Réduite à cause de la tâche 8
8. Troisième campagne d'échantillonnage		0 / 0		Abandonnée
9. Traitement SIG des données, cartographie de l'indicateur, valorisation		10%		
TOTAL		420 / 800		800 au lieu de 900

3. COMMENTAIRE DES DIFFERENTES TACHES

L'objectif du projet ANGRES est d'élaborer un indice socio-technique sur la gestion du potentiel épurateur des sols soumis à l'infiltration d'eaux usées domestiques traitées en assainissement non collectif (ANC). L'approche est pluridisciplinaire et plutôt que de suivre le plan des tâches, on présente ici les travaux en les classant par action méthodologique.

Perception des fonctions du sol par les usagers de l'assainissement non collectif

Objectifs et méthodologie

L'objectif du projet ANGRES est d'élaborer un indice socio-technique qui sera intégré dans l'indicateur final sur la gestion du potentiel épurateur des sols en assainissement non collectif (ANC). Cet indice permettra de prendre en compte l'avis, l'opinion, le ressenti de la population sur le sol et le dispositif d'ANC. Ici, deux questionnaires sont élaborés pour évaluer d'une part la perception des fonctions et des usages du sol par les particuliers, d'autre part le rapport entre l'usager et son système d'ANC.

La population cible relève du Service Public d'Assainissement Non Collectif (SPANC) de la Fédération des Eaux de Puisaye-Forterre (90 communes ; Yonne). Les communes sont situées dans un rayon de 30 km autour de Toucy. Les zonages d'assainissement de ces communes font apparaître un grand nombre d'habitations concernées par ce mode de traitement des eaux usées domestiques.. Sur ce territoire, environ 600 foyers ont réhabilité leur ANC depuis moins de 6 ans. En prenant comme critère principal le type d'évacuation

¹ Indiquer un pourcentage estimé de l'état d'avancement et rappeler la date de fin de tâche initialement prévue dans le projet

² A remplir si un délai est à prévoir par rapport au projet initial

des eaux usées traitées (au fossé, au réseau pluvial, dans une mare, sur le sol de la parcelle, par infiltration à 1 m de profondeur...), on a créé une liste de foyers à interroger. Cette liste comprend trois catégories principales de foyers :

- des habitations situées sur un sol favorable à l'infiltration, soit en surface soit dans les couches sous-jacentes, et qui possèdent donc un dispositif (neuf ou réhabilité, ou sur le point de l'être), des 3 types suivants : filtre à sable non drainé, lit d'épandage, tranchées filtrantes. Il s'agit en général de sols calcaires ou sableux. Une liste de 153 foyers, répartis sur 31 villages, susceptibles d'être interrogés a été obtenue.
- des foyers sélectionnés à partir de dossiers instruits par la DDASS (période antérieure à l'année 2000). Dans la plupart des cas, le traitement s'effectue par tranchées filtrantes (sols perméables) et les dispositifs sont anciens. Les adresses des habitations ne sont pas précises et certains usagers ont déménagé. La liste constituée regroupe 52 foyers répartis sur 11 villages aux environs de Toucy.
- des habitations raccordées à un système de traitement sans infiltration, de type terre, filtre à sable drainé, ou rarement micro-stations. Il s'agit de maisons construites sur des sols argileux présentant un faible potentiel d'infiltration. Ces usagers possèdent un ANC réhabilité ou neuf, et une évacuation par drainage soit vers un fossé, soit vers leur parcelle. Cette nouvelle population compte 92 foyers répartis sur 30 villages.

La population sélectionnée est constituée majoritairement de foyers ayant réhabilité ou construit récemment leur dispositif. La perception par les usagers des usages et fonction du sol de leur parcelle et l'évacuation de leurs eaux usées est évaluée au moyen de deux enquêtes : l'une par entretien face à face sur la perception de leur sol et de leur environnement ; l'autre par voie postale sur leur perception du dispositif d'ANC. On a obtenu, en termes de rendement : dans la première enquête (respectivement la seconde), 50 réponses (resp. 58) soit 25% (resp. 23,5%) en taux de retour, dont 10 foyers (resp. 12) ont accepté de nous recevoir pour effectuer des tests physiques sur le sol de la parcelle.

Traitement des résultats et interprétation

La première étape du traitement des données a pour objet la description de l'information et est réalisée à travers l'opération du « tri à plat » : le calcul de la distribution des effectifs et des pourcentages des modalités pour chaque réponse.

La seconde étape fait la comparaison entre les statistiques nationales de l'INSEE et les questions générales : on vérifie si notre population est représentative de la population nationale. On a aussi introduit 6 questions tirées du baromètre Santé-Environnement de 2007 (BSE) afin de déterminer si notre population ressemble à celle du baromètre.

La troisième étape est le croisement entre des questions : on prend deux variables comme par exemple le sexe du répondant et une question sur l'environnement. Cela a permis de comparer la distribution des comportements et des opinions entre sous-groupes de répondants mais aussi de faire apparaître des associations entre les réponses et de faire un recoupement entre certaines questions afin de vérifier la cohérence des réponses.

Le questionnaire sur la perception des fonctions et des usages du sol par les particuliers est composé de 4 questions d'ordre général (âge, sexe, catégorie socioprofessionnelle et niveau d'étude le plus haut), de 42 questions qui abordent différents thèmes : questions générales sur l'environnement, sur la santé, sur les produits d'entretien du jardin, sur le sol (*Figure 1*) et sur les usages domestiques de l'eau et la protection de la ressource. Le questionnaire se termine sur 10 questions sur l'habitation de l'utilisateur.

Le second questionnaire qui a permis de décrire le rapport entre l'utilisateur et son système d'assainissement individuel est composé de 36 questions qui traitent l'ANC sous différents aspects comme son fonctionnement, son rôle, sa réglementation. Ces questions sont suivies par des questions d'ordre général sur le particulier et son habitation (les mêmes que pour le premier questionnaire). Enfin, il se termine sur trois questions qui proposent à l'utilisateur d'aller plus loin soit, s'il le désire, en lui envoyant de la documentation sur le programme GESSOL et le projet ANGRES, soit en acceptant d'aider les étapes suivantes du projet, c'est-à-dire les prélèvements de sol et les tests d'infiltration sur la parcelle de terrain. Les questions entrent dans une typologie de 5 niveaux : Information, Connaissance, Comportement, Perception, Opinion. On a réalisé au préalable une grille d'interprétation de

chacun des questionnaires. En confrontant cette grille aux réponses, on en conclut que certaines questions ne sont pas interprétables ou le sont difficilement et qu'il faudra les modifier ou les supprimer dans une future enquête.

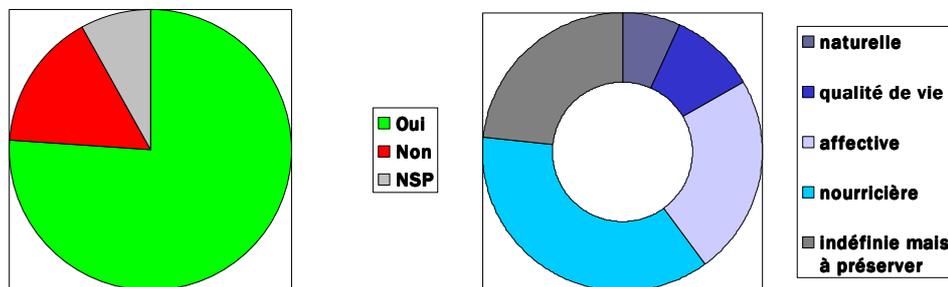


Figure 1. Exemple de question sur les fonctions des sols. A. Pensez-vous que l'on puisse attribuer une valeur autre que financière à un sol ? B. Laquelle ?

Le SPANC : contrôle et gestion des risques environnementaux et sanitaires.

La finalité du projet ANCRES est d'une part d'évaluer l'impact des rejets sur les sols et d'autre part d'évaluer les conditions de mise en œuvre du service public d'assainissement non collectif (SPANC). La mise en œuvre territoriale de ce nouveau service public n'est pas sans conséquence sur la maîtrise des risques sanitaires et environnementaux pour les habitants et les milieux récepteurs. Il existe actuellement une diversité de SPANC très importante sur le territoire tant du point de vue du degré d'avancement de leur mise en œuvre, que des modalités de contrôle et de réhabilitation des systèmes. L'objectif est de rendre compte de cette diversité de situations et d'analyser comment les conflits qui surgissent lors de la mise en œuvre des SPANC contribuent à cette diversité. Ces dernières années, les SPANC sont en effet l'objet de vives critiques de la part de certaines des plus importantes associations de consommateurs, telle que la CLCV (Consommation, Logement et Cadre de Vie), mais aussi de certains élus (en charge du SPANC), qui mettent en lumière un certain nombre de vides juridiques se traduisant par une conflictualité importante entre SPANC et usagers. Dans ce contexte, nous cherchons quelles sont les formes de conflictualité dans la mise en œuvre des SPANCs. Dans les formes de conflictualité que nous étudions, nous regardons avec attention les controverses pouvant exister au niveau de l'argumentaire environnemental et sanitaire des SPANC sans oublier les aspects techniques et financiers des conflits qui opposent pouvoirs publics et usagers. Après avoir identifié les différentes causes de conflictualité, nous nous efforçons de caractériser les différents comportements adoptés par les usagers. Pour ce faire, nous réalisons des entretiens auprès des acteurs concernés : usagers et responsables du service (Président de SPANC, Directeur général des services, techniciens en charge des contrôles, élus de communes...). Cette étude porte sur 3 SPANC, situés en Seine et Marne. Ces terrains composés de populations variées, en termes de types d'habitats (rural et périurbain) et de classes socioprofessionnelles présentent des modalités de mise en œuvre du service très différentes (mode de gestion en régie directe ou en délégation, tarification, stratégie de communication, etc.) et permettent d'avoir un échantillon illustrant la complexité, à l'échelle des territoires, de ce service public.

Bilan hydrologique d'un bassin versant vulnérable et prévision des crises

Sur le bassin versant vulnérable de l'Arroux, le bilan hydrologique annuel sur une décennie contenant l'année de sécheresse de référence 2003 révèle un déficit d'écoulement moyen anormalement élevé dont les équations empiriques classiques ne rendent pas compte. Une part est due aux facteurs climatiques. Pour une autre part, cela provient de l'écoulement de la nappe alluviale qui n'est pas jaugé au droit des stations. On envisage comme causes de déficit l'alimentation maîtrisée du canal du Centre et celle, non contrôlée, de la nappe profonde du bassin houiller. On inclut dans le bilan les prélèvements et l'assainissement

collectif ou non collectif (*Figure 2*). La réserve régulatrice maximum mobilisable, estimée grâce à la courbe du tarissement, est équivalente au prélèvement total annuel. Elle est donc en théorie suffisante, mais elle est souvent épuisée avant l'été. Face aux difficultés récurrentes à préserver un débit seuil en période d'étiage, on souhaite prévoir le nombre de jours de crise du mois suivant en fonction du déficit d'écoulement du mois révolu grâce à une corrélation linéaire. On se fixe comme objectif une méthodologie simple, applicable à tout bassin, et utilisable dans le cadre d'un SAGE : celle proposée ici est d'accès aisé puisqu'elle utilise l'algorithme du bilan mensuel séquentiel dit de Thornthwaite, alimenté par l'ETP Penman fournie par MétéoFrance. La recherche d'une parade en termes de gestion nécessite un inventaire de la ressource, en particulier des aquifères sous-exploités sur le territoire étudié.

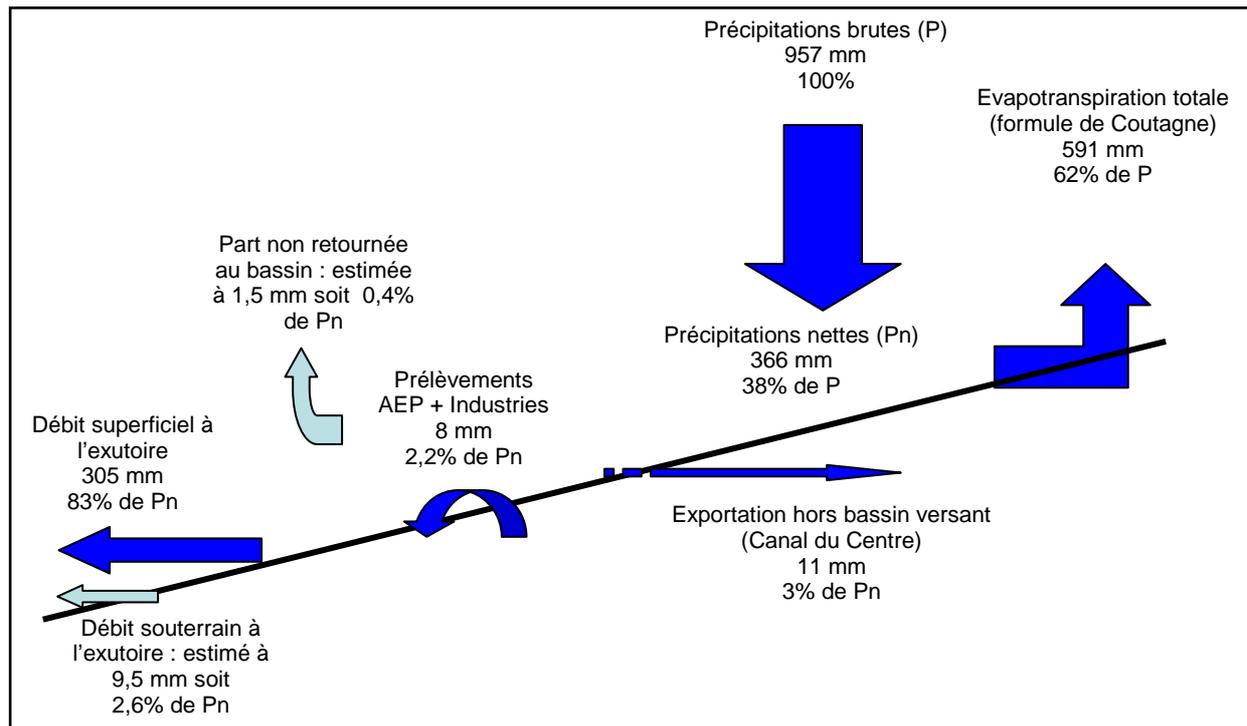


Figure 2. Bilan hydrologique du bassin versant de l'Arroux. Si l'on admet que l'ETR est correctement estimée par la formule de Coutagne, le bilan hydrologique induit une variation du stock d'eau de 62 mm. En estimant l'écoulement souterrain et l'export par le canal, le déficit est ramené à 39 mm et représente 11 % de la pluie nette Pn ou pluie efficace.

Caractérisation de la texture des sols

Echantillonnage des sols

Les systèmes d'assainissements visités sont situés dans l'Yonne. Pour les 11 sites visités et échantillonnés, on était sur 6 paysages pédologiques différents. L'objectif était d'identifier sur chaque site les couches du sol en réalisant un profil à la tarière à main, puis prélever un échantillon du sol de 5 kg à la profondeur de 70 cm pour la caractérisation physique du sol, fait par une tarière thermique de diamètre 25 cm le plus profonds possible (60 à 90 cm). En raison de la dureté du sol et de la présence de cailloux de calcaire, chaque site a une situation et des contraintes particulières. Les contraintes et les propositions :

- Le nombre des logs (*Figure 3 A*) et des échantillons : pour respecter la représentativité de l'échantillon il faudrait au moins faire 3 profils du sol (logs) pour 5 m² de surface autour de la parcelle où se fait l'évacuation.
- Si les couches des trois profils sont identiques, on prélèvera un échantillon pour les trois logs, sinon il faut prendre un échantillon pour chaque log.
- La profondeur minimum de 70 cm doit être respectée pour pouvoir caractériser le sol sous le massif filtrant.

- Pour mieux comprendre la nature du sol de chaque site, il faut prélever un log à l'extérieur de la maison dans le sol environnant et le comparer avec les logs du site (reconnaître des remblais).
- La méthode employée pour faire les logs et les échantillons est efficace mais prend beaucoup de temps. Donc pour le prélèvement de(s) échantillon(s) du sol et les logs, il faut consacrer plus d'une demi-journée pour chaque site.
- Pour déterminer la teneur en eau volumique, la teneur en eau massique à des potentiels hydriques variés, les courbes de rétention de l'eau (trouver ou acheter un extracteur pF), la masse volumique, la densité apparente et la porosité, on aura besoin d'échantillonner du sol par cylindre calibré (avec volume défini).

Essais de caractérisation des sols

Pour caractériser le sol de chaque site, une série d'essais classiques du sol ont été faits au laboratoire de géotechnique du Cnam de Paris. Pour les analyses classiques on a suivi les protocoles de l'AFNOR et pour la surface spécifique des particules fines des sols, elle a été déterminée suivant deux méthodes : la méthode au bleu de méthylène (*Figure 3 B*) et la méthode BET (*Figure 4*) pour déterminer la surface spécifique externe.

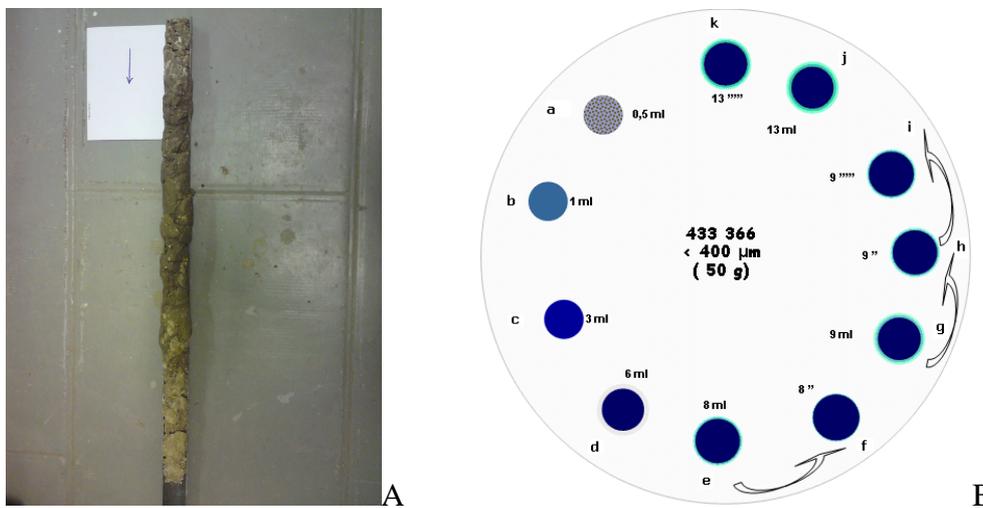


Figure 3. A. Log de 110 cm effectué à Chassy (Yonne). L'altération de la craie (claire, en bas) a produit un mélange d'argiles plus près de la surface. Le gradient de l'altération se différencie par la couleur. B. Charte d'identification du volume de bleu de méthylène adsorbé par le sol.

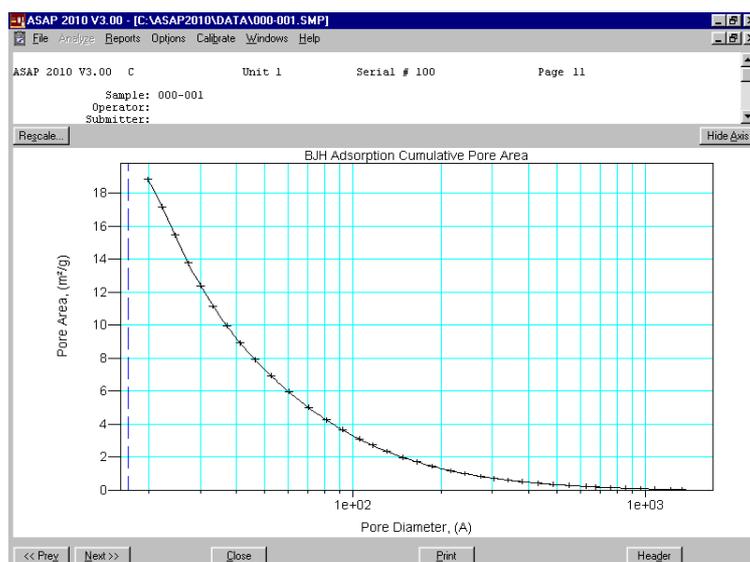


Figure 4. A. Courbe d'adsorption d'azote N₂ interprétée selon la méthode BJH : surface de pore en fonction du diamètre des pores. La surface spécifique est l'intégrale de cette courbe divisée par la masse totale de l'échantillon sec.

Pour compléter cette série de tests, la détermination du type d'argile dans chaque échantillon en utilisant le MEB (*Figure 5*) peut aider à mieux interpréter les résultats de la surface spécifique des échantillons du sol.

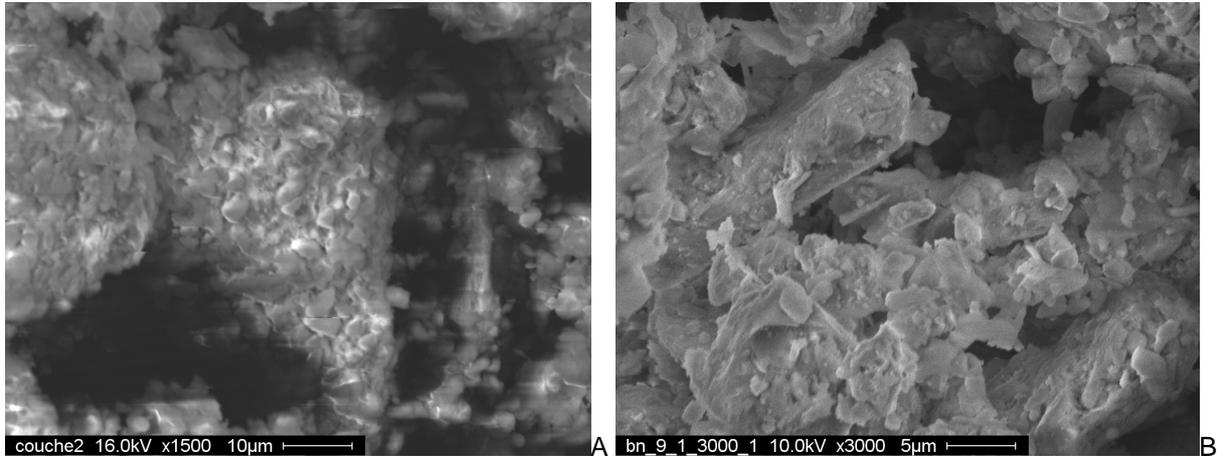


Figure 5. Agrégats de particules d'illite et de kaolinite minoritaire vus au MEB dans deux types de sols. A. Matrice argileuse d'un sol de colluvions de grave calcaire. B. Texture de la formation des « sables de Puisaye ».

Parmi les essais effectués jusqu'à maintenant, pour déterminer les fonctions du sol pour la rétention et/ou l'affinage des eaux usées traitées, on retiendra pour l'indicateur les essais :

- sedimentométrie,
- détermination de la surface spécifique du sol (externe et interne) sur les particules fines du sol, par les deux méthodes
- limites d'Atterberg (pour avoir l'indice d'activité),
- teneur en eau résiduelle.

Ils peuvent fonctionner comme des indicateurs physiques du sol à confronter avec les résultats de la chimie de l'eau du sol aux différents niveaux.

Analyse et modélisation géométrique de texture

On modélise un réseau d'objets plans (surfaces minérales, fissures, fractures, discontinuités au sens large) à partir de carottes prélevées sur le terrain. Nous représentons chaque fracture par la paire de vecteurs unitaires opposés normaux. Nous cherchons à répartir ces fractures en familles puis à les simuler (*Figure 6*). Nous adoptons l'algorithme EM pour les mélanges de lois de probabilité. Les lois considérées sont des projections sur la sphère unité de lois normales dans le plan tangent. Nous explicitons EM pour ces mélanges de lois.

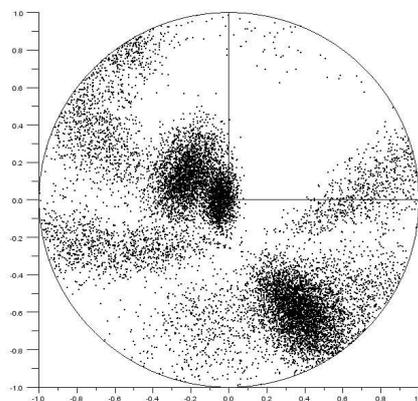


Figure 6. Distribution des plans simulés dans une configuration à 6 familles obtenues par application de l'algorithme EM sur une population de fissures réelle.

Surtout, nous proposons un test d'adéquation intuitif pour le mélange obtenu par EM, basé sur la distance de Hausdorff modifiée, entre l'échantillon de départ et des échantillons simulés selon la loi du mélange estimée. Une fois le mélange obtenu, nous classons les points de l'échantillon à partir des probabilités a posteriori d'affectation. Enfin, les avantages et les difficultés de la méthode sont illustrés sur un jeu de données réelles, une population de fissures. Cela met en lumière l'ambivalence du processus de classification.

Mise en œuvre et comparaison des tests d'infiltrométrie

Le principal paramètre d'intérêt est la conductivité hydraulique à saturation (Figure 7). La bibliographie a porté sur les tests utilisés actuellement en mode opérationnel en agronomie et en géotechnique, dont certains sont normalisés, mais aussi de tests en cours de recherche et développement. Nous distinguons ainsi 3 types de tests :

- impose une charge négative (suction) à la surface : c'est l'infiltromètre TRIMS. La mise en oeuvre est assez aisée et non destructive. C'est le seul type de test qui permet une mesure directe de la conductivité hydraulique du sol en condition non-saturée.
- impose une charge positive à la surface : c'est le cas des infiltromètres à anneaux (simple ou double) et la méthode BEST. La mise en oeuvre est aisée et quasi non-destructive (on enfonce l'anneau de quelques centimètres dans le sol). Ces tests donnent une mesure directe de la conductivité à saturation, certains donnant même accès de façon indirecte aux courbes hydrodynamiques du sol non-saturé.
- impose une charge positive dans un orifice du sol : il s'agit des tests dits de « Porchet » et de « Guelph ». Destructifs, ils restent toutefois assez faciles de mise en oeuvre et permettent des mesures en profondeur dans le sol. Ils donnent accès directement à la conductivité hydraulique à saturation (Figure 8).

Des comparaisons de 3 tests correspondant aux 3 types identifiés ont été initiées : Trims, double anneau et Porchet. Elles sont encore à valider et analyser. Des simulations des 3 tests sélectionnés ont été initiées. Les simulations permettent une comparaison entre la conductivité entrée dans le modèle (conductivité « vraie ») et les conductivités obtenues par la simulation des différents tests à partir de la courbe d'infiltration cumulée simulée.

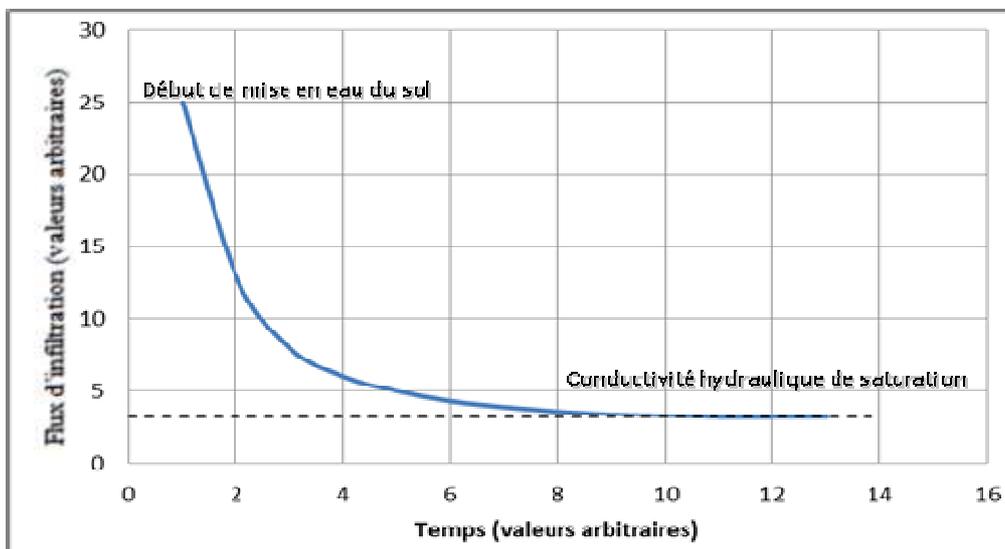


Figure 7. Courbe type de la décroissance du flux d'infiltration à teneur en eau croissante : le flux tend vers la « conductivité hydraulique à saturation ».

K_s, ms^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}
Qualification	perméable		semi-perméable			impermeable				
Composition granulométrique approximative	graviers		sables grossiers à sables fins		sables très fins limons grossiers		limons fins, argiles			

Figure 8. Classement des sols en fonction de leur conductivité hydraulique à saturation.

L'implication du CETE dans la 2nde partie du projet montera en puissance, avec 2 actions :

- Assurer le suivi des données hydriques du site pilote (cf. infra, rubrique dédiée) : l'instrumentation du site a été terminée au printemps 2012. Le CETE va récupérer, critiquer, valider les données hydriques, et les interpréter en terme de bilan et flux (en collaboration avec LEESU);
- Aboutir et valoriser le travail sur l'infiltration : il s'agit de finaliser le travail de comparaison critique des tests d'infiltration, et de rédiger un rapport et un article sur le sujet en relation avec l'ANC. Le CETE coordonnera ce travail.

Tomographie de résistivité électrique

Deux campagnes de mesure ont été effectuées. La première du 23 au 26 mai 2011 et la seconde du 19 au 21 juin 2012. Dans le cadre des activités menées au Cemagref jusqu'à présent, la tomographie de résistivité électrique avait été principalement utilisée afin de déterminer les limites spatiales des installations d'ANC enterrées (méthode INVESTIG'+®). La première campagne a donc été l'occasion pour nous de tester la méthode avec un objectif différent : observer les variations de la distribution de résistance électrique autour du système (*Figure 9*) qui seront par la suite une aide à l'interprétation des mesures ponctuelles (pénétrométrie dynamique, géoendoscope, infiltrométrie). Il en est ressorti que les limites des terrains sur lesquels les investigations étaient menées nous obligeaient à utiliser des flûtes de l'ordre de grandeur d'une vingtaine de mètre au maximum ne nous permettant pas d'avoir une sensibilité suffisante de la mesure à une profondeur supérieure à 1 mètre. Un autre paramètre a sur certains sites réduit significativement la sensibilité de la mesure en profondeur : la présence d'argile. On a donc peu d'information sur le profil de résistivité dans le sol in situ sous un massif filtrant. Dès lors, il est apparu que la méthode serait plus particulièrement adaptée à l'étude de sites équipés de dispositifs du type « tranchées d'infiltration » et c'est donc sur ces sites que nous avons concentré nos efforts lors de la seconde campagne d'essai. Les résultats de tomographie de résistivité électrique obtenus lors de cette dernière seront comparés aux résultats obtenus par les méthodes ponctuelles lors d'un atelier de travail qui aura lieu dans la seconde moitié de l'année 2012.

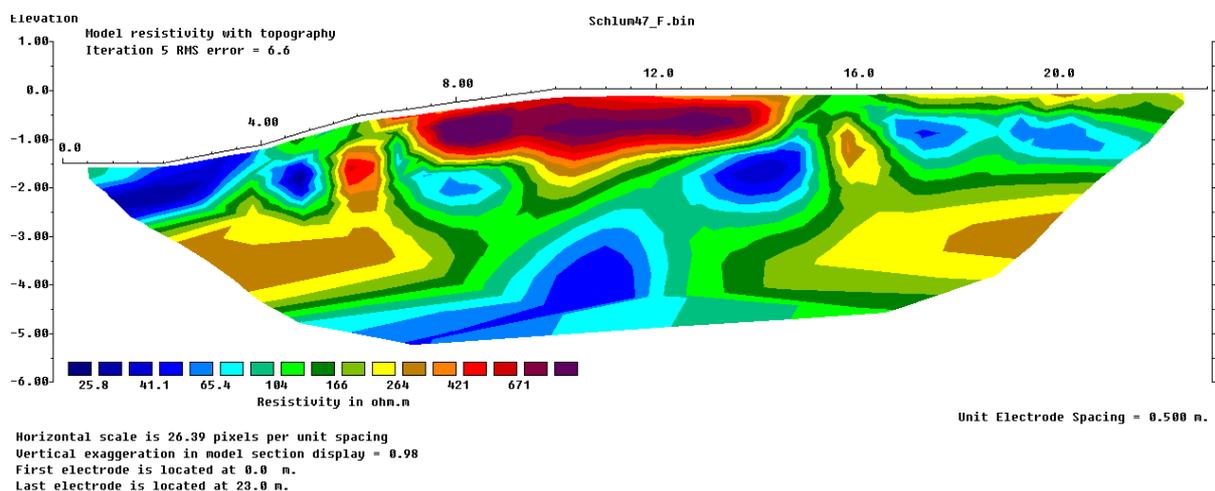


Figure 9. Profil de résistivité électrique obtenu autour d'un filtre à sable, mettant en évidence les variations de la nature du sol en amont et en aval.

Par ailleurs, afin de mieux caractériser l'hydrodynamique du site pilote (cf. infra, rubrique dédiée), nous avons décidé d'effectuer un traçage sur le site pilote où un soluté fortement conducteur sera injecté à l'entrée du massif et dont la répartition spatiale au cours du temps sera suivie au moyen de la tomographie de résistivité électrique. Cette expérience nécessite la mise au point de lignes d'électrodes verticales et donc comporte une phase de conception incluant une première modélisation *a priori* afin d'optimiser le positionnement des électrodes.

Mesure des concentrations en oxygène gazeux dans les filtres

Des mesures d'oxygène gazeux ont été effectuées dans les filtres lors des deux campagnes de mesure afin de déterminer les zones biologiquement actives des systèmes. Ces informations seront à croiser avec les résultats d'échantillonnages effectués sous les filtres. Par ailleurs, lors de la dernière campagne, un état initial des concentrations en oxygène gazeux a été effectué sur le site pilote (24 points de mesure). Ces mesures seront répétées à 1 mois d'intervalle pour suivre l'évolution temporelle de l'activité biologique dans le filtre.

Modèle de terrain pour l'étude des performances épuratoires de sols naturels

Dans le cadre du projet ANGRES, l'objectif de ce travail était d'évaluer la faisabilité, l'adaptation et l'apport des outils de sondages légers développés par le LaMI / Institut Pascal pour la caractérisation des propriétés des sols, particulièrement de leur capacité d'épuration. Les techniques courantes sont peu adaptées à cette problématique car elles sont longues à mettre en œuvre et utilisables uniquement en surface ou à quelques décimètres de profondeur.

Deux outils ont été testés : le pénétromètre dynamique léger Panda et la géo-endoscopie (*Figure 10*). Leur rapidité de mise en œuvre permet de réaliser plusieurs sondages peu destructifs sur plusieurs mètres de profondeur et dans un temps compatible avec les contraintes de ce type d'étude.

Les travaux engagés ont consisté :

- d'une part, au moyen de 2 campagnes d'essais (10 sites investigués dont 3 ont été auscultés 2 fois ; réalisation de 41 essais Panda et de 36 essais au géo-endoscope), à étudier la faisabilité et l'adaptation de ces outils pour ce type de reconnaissance ;
- d'autre part à étudier la méthodologie permettant de fournir un modèle de terrain réaliste en ce qui concerne les caractéristiques étudiées.

Sur le premier point, la méthodologie a montré qu'elle était complètement adaptée aux contraintes de site et à la problématique. L'interprétation des essais permet une caractérisation locale des couches de terrain rencontrées et de leur épaisseur. Par contre, elle ne donne à l'heure actuelle qu'une caractérisation sommaire des matériaux (sable / argile / limon) et donc une idée fort grossière de la perméabilité (estimée à partir de la connaissance des matériaux ou d'un calage avec les autres essais, notamment d'infiltration, réalisés sur le site).

En ce qui concerne le second point (mise au point d'un modèle 3D de terrain), plusieurs méthodes ont été testées sur 2 caractéristiques : épaisseur des couches et résistance de pointe. Au final, l'utilisation de la méthode d'interpolation de « l'inverse de la distance » semble la plus adaptée car elle a l'avantage de convenir aux cas où le nombre de données est limité. Son inconvénient principal est l'influence des valeurs limites (maximales ou minimales) sur les résultats.



Figure 10. Texture argileuse et limoneuse d'un sol utilisé pour ses fonctions de filtration-épuration sous des tranchées filtrantes. Vue par endoscopie, largeur de la fenêtre 5 mm.

Les perspectives de ces travaux sont de tester d'autres méthodes d'interpolation (type réseaux de neurones par exemple) et d'arriver à établir un véritable modèle de terrain de la perméabilité (obtenue en fonction de la caractérisation des matériaux et de leur état de serrage estimés à partir des résultats de pénétrométrie et endoscopie).

Conception d'un pilote instrumenté pour l'étude des fonctions du sol en ANC

Objectifs et méthodologie

Un massif filtrant pilote instrumenté, installé chez un particulier dans l'Yonne, est en phase de suivi pour le prélèvement d'eau à deux profondeurs sous le massif filtrant afin de réaliser des analyses chimiques au pas mensuel. Simultanément, on effectue la surveillance continue des paramètres hydro-pédologiques, météorologiques, et piézométriques, qui permet de caractériser le fonctionnement hydraulique du système sol + massif filtrant.

On présente ici la méthodologie de sélection du matériel échantillonneur, et le plan d'instrumentation. Par ordre de priorité pour le projet ANCRES, les objectifs liés aux contaminants sont :

- ✓ la concentration des solutés (mg.L^{-1}),
- ✓ le bilan massique ($\text{mg.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$),
- ✓ le flux massique de transport de solutés ($\text{g.cm}^{-2}.\text{jour}^{-1}$).

Une vue d'ensemble de l'échelle de temps nécessaire à l'acquisition de ces trois types d'informations, ainsi que les efforts relatifs de maintenance et les coûts des matériels possibles, a conduit aux choix suivants.

Sélection du matériel échantillonneur

Les plaques poreuses (plaques rondes et plates, « 2D ») sont choisies car elles présentent les avantages suivants :

- ✓ Pas de rétention du phosphore, du carbone organique total ou d'autres éléments ;
- ✓ 50% de quartz garantit une conductivité hydraulique suffisante ;
- ✓ risque minime de colmatage de la plaque ;
- ✓ utilisable dans tous types de sols et à toutes profondeurs ;
- ✓ pratique pour la recherche de matières organiques et de métaux lourds dans le sol ;
- ✓ Ne crée pas d'écoulement vertical préférentiel dans le sol ;
- ✓ Possibilité de détection d'événements ou de flux préférentiels ;
- ✓ Meilleure représentativité des prélèvements (par rapport à la bougie poreuse) ;
- ✓ Applicable pour estimer un bilan massique (Weihermüller et al. 2007).

Pour prélever l'eau du sol, 10 disques poreux ont été installés à l'interface sol-massif filtrant et 15 autres, 40 cm sous cette interface (*Figure 11*). La première série est à l'interface entre le massif de sable et le sol à une profondeur de 120 cm et la seconde à 160 cm de profondeur. Ces disques permettent de recueillir l'eau du sol par aspiration dans un flacon en polypropylène (capacité 2 litres) via des tubes en téflon. Le volume d'eau récupérable est estimé à 1,2 l/jour/habitant et le stockage et le transport des prélèvements s'effectuent dans une glacière (à 4°C). Les disques poreux sont reliés à des pompes à vide programmables jusqu'à une pression de succion de 850mbar.

Les deux profondeurs de prélèvement ne sont pas superposées et vont permettre de déterminer s'il y a ou non une évolution de la composition chimique de l'eau lors de son passage dans le sol. Ainsi, l'eau prélevée à l'interface entre le massif de sable et le sol pourra être comparée avec de l'eau prélevée en surface avant son entrée dans l'épandage pour évaluer l'efficacité du traitement par le massif filtrant, le rôle d'affinage du sol est quant-à lui évalué en analysant les eaux extraites 40 cm sous le filtre à sable.

Sélection du matériel de mesure de la succion et de la teneur en eau dans le sol

Une dizaine de tensiomètres électroniques donneront un profil longitudinal et transversal du dispositif à deux profondeurs, 70 cm et 120 cm.

Des sondes de profil de teneur en eau du sol nous donnent la distribution temporelle et spatiale sur 24 heures (à 10, 20, 30, 40, 60 et 100 cm de profondeur), ce qui permet l'estimation du créneau horaire optimal pour le prélèvement.

On présente alors un plan du dispositif d'instrumentation et une coupe technique (*Figure 11*) montrant l'implantation exacte de tous ces matériels dans le sol sous le massif filtrant.

Piézométrie ponctuelle

Pour la surveillance de la nappe phréatique, nous disposons d'un puits à proximité, et dans un rayon d'une centaine de mètres, d'une mare à l'amont et d'un lavoir à l'aval. Dans le puits et éventuellement dans un tube piézométriques si cela s'avère nécessaire nous utiliserons une sonde immergée autonome, une par point de mesure, qui mesure en même temps la pression et la température de l'eau et permet d'effectuer le transfert des données sur PC.

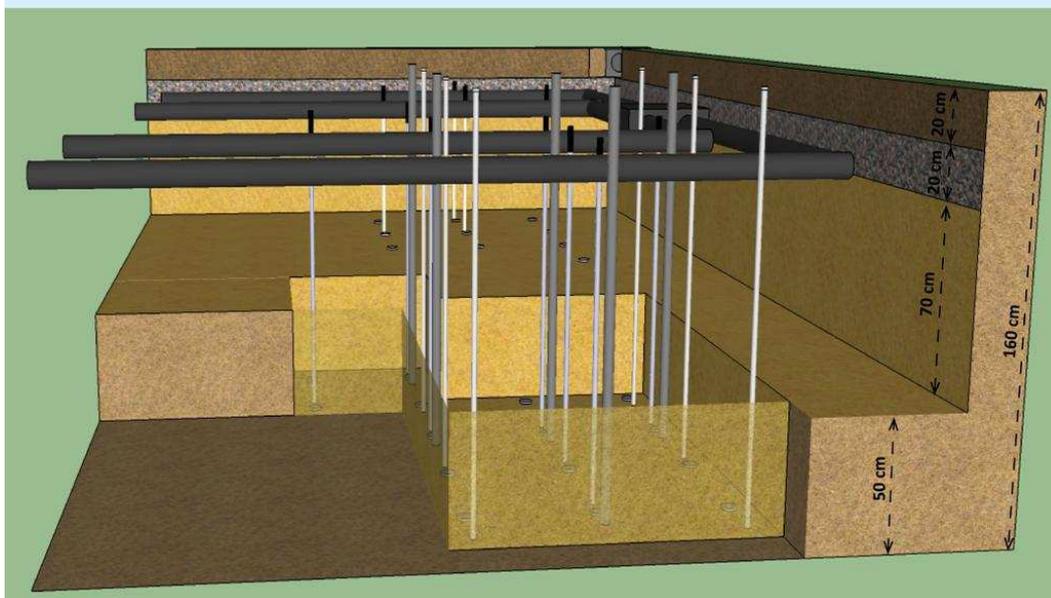


Figure 11. Dispositif pilote d'ANC : vue perspective de la fosse contenant le sable filtrant, les drains d'épandage (horizontaux) et les instruments de mesure hydrogéologique (verticaux) : tensiomètres et sondes de profil de teneur en eau.

Suivi chimique des eaux prélevées sur le site pilote à différents niveaux

Dans la première phase ont été mesurés des paramètres classiques de qualité, ainsi que des micropolluants émergents : parabènes et triclosans. Les paramètres classiques ont été mesurés d'après les normes AFNOR et les recommandations de AWWA / APHA.

	Sol	Liquide	Méthode
Granulométrie	oui		laser
Surface spécifique	oui		Bleu de Methylène
Conductivité		oui	sonde
DCO		oui	sonde
Carbone total	oui	oui	COT mètre
N, P total	oui	oui	externalisé
Anions, cations		oui	chromatographie
Parabènes, Triclosans	oui	oui	GC MS MS

Les parabènes (PBs) et triclosans (TCs) sont des composés utilisés comme antimicrobiens ou antifongiques dans les produits de soin corporel, les produits pharmaceutiques ou encore les produits ménagers. Ces composés sont ensuite rejetés directement ou après métabolisation dans le réseau des eaux usées. Le projet ANCRES vise à quantifier ces composés hydrophiles au sein de dispositifs d'assainissement non collectifs (eau, sol). Cependant, l'analyse des PBs et TCs étant très complexe en raison de l'existence de composés interférents dans le milieu induisant un effet matrice important, et les concentrations généralement retrouvées étant de l'ordre du µg/L voire du ng/L, un premier travail d'établissement de protocoles d'extraction des PBs et TCs a été nécessaire pour les sols et les différents types d'eau étudiés dans notre pilote (eau de fosse, eau traitée par le massif filtrant, eau filtrée par le sol). On s'appuie sur une méthode d'extraction

développée au laboratoire par Darine Geara et Catherine Lorgeoux, pour le dosage des PBs et TCs dans des échantillons d'eaux de stations d'épuration.

L'extraction est réalisée en phase solide (SPE), sur cartouche OASIS HLB (6 mg). L'analyse est ensuite effectuée par chromatographie en phase liquide (UPLC) couplée à la spectrométrie de masse en tandem (MS-MS). Les paramètres à optimiser sont alors le volume d'extraction (pour atteindre une quantité de composés suffisante pour être quantifiable) et la diminution de l'effet matrice (atténuation du signal due à la présence de composés interférents).

Au cours de différentes campagnes de prélèvements, des échantillons de volumes différents ont été testés. Les analyses ont été réalisées en triplicats après filtration sur 0,45 µm. Cela a permis de déterminer un volume minimal de 200 mL pour l'eau provenant du massif filtrant et du sol et de 100 mL pour la fosse septique afin d'obtenir des quantités suffisantes pour être quantifiées. Les résultats de ces premiers tests ont montré de très faibles teneurs en composés organiques (quelques ng/L, notamment pour les eaux du massif filtrant et du sol).

Des effets de matrice importants (supérieurs à 30 % et pouvant atteindre 80 % pour la fosse septique) ont été relevés. Cela induit donc une forte diminution du signal (*Figure 12*). Une amélioration a été observée à l'aide d'une étape de dilution de l'échantillon avant analyse. Des tests complémentaires sont en cours afin d'introduire une étape de purification des échantillons avant analyse. Cela permettra d'éliminer une partie des composés interférents présents dans la matrice et ainsi réduire l'effet matrice.

La validation de la méthode d'analyse des PBs et TCs dans le dissous est en cours. Les rendements de la méthode globale et les rendements de la méthode d'extraction sont en cours de détermination. Les paramètres analytiques tels que la répétabilité, la reproductibilité et les limites de quantification seront déterminés. Les échantillons pourront être ensuite analysés afin de déterminer l'efficacité d'abattement des micropolluants organiques du massif filtrant.

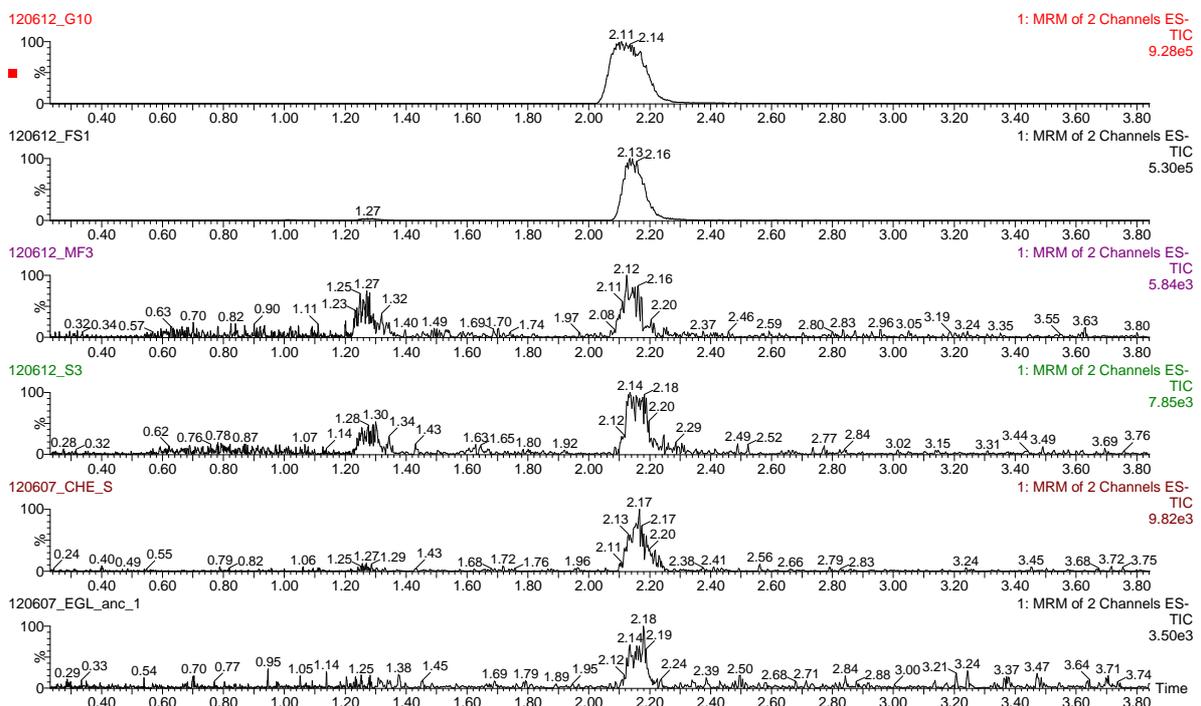


Figure 12. Illustration des effets de matrice pour les mesures de parabènes et triclosans. L'ionisation des composés diminue en présence de composés interférents dans la source ce qui se traduit par une perte de signal pour une même concentration. Ici, le premier est un composé étalon. Ensuite viennent des échantillons d'eaux prélevés dans une matrice de fosse septique diluée, dans le sol, dans le massif filtrant, puis des échantillons de sols (EGL, CHE). Le signal diminue selon la nature de la matrice (on voit les intensités de pic à droite).

Prélèvement et analyse d'échantillons de sols

Prélèvement à la gouge et au marteau piqueur

La méthode de prélèvement du sol dépend de la profondeur à laquelle se situe la zone à échantillonner. En effet, suivant le type d'installation l'interface filtre/sol ne se situe pas à la même profondeur (par exemple, elle est plus importante pour un massif filtrant que pour un lit d'épandage). Ainsi lorsque la hauteur d'échantillonnage ne dépasse pas les 80cm une seule gouge de 1 mètre suffit pour faire le prélèvement. En revanche, si elle est plus importante nous devons procéder en deux passes (*Figure 13*) :

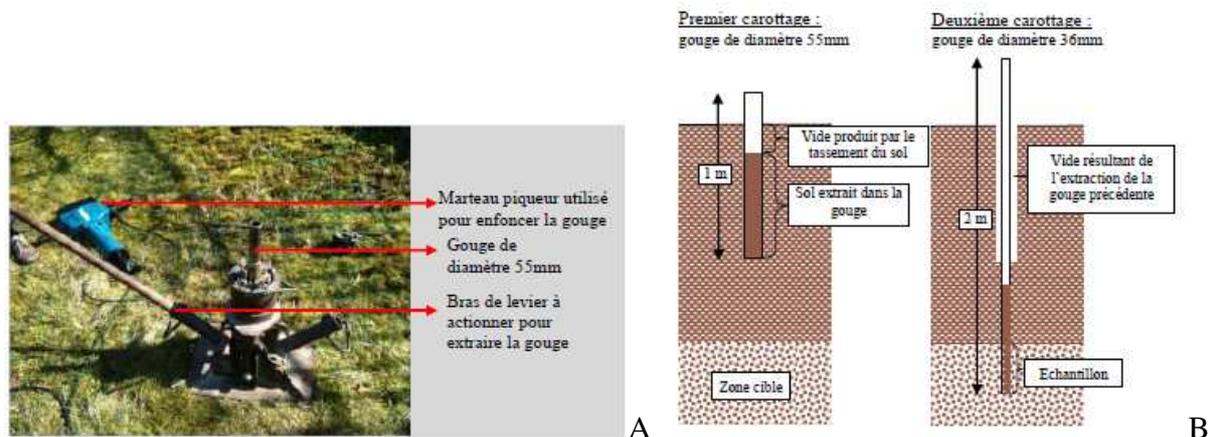


Figure 13. Schéma de la méthode de prélèvement des échantillons de sols.

Préparation des échantillons pour analyses de sols

Entre février et mars 2012, 25 échantillons de sols ont été reçus au LEESU (laboratoire de Créteil). Ils ont été traités comme indiqué ci-dessous en vue de l'analyse des PBs et TCs :

- Congélation pendant 24 h/lyophilisation pendant 48 h,
- Pesée pour quantifier la perte d'eau,
- Congélation pendant 24h / lyophilisation pendant 48 h,
- Pesée pour quantifier la perte d'eau. Nouvelle séquence congélation / lyophilisation si poids obtenu différent de la précédente pesée.

Par semaine, 8 échantillons ont pu être lyophilisés.

- Broyage des échantillons avec un pilon dans un mortier,
- Tamisage des sols sur tamis < 2 mm,
- Division de l'échantillon :
 - o Répartition de la partie de l'échantillon < 2 mm entre analyse organique (parabènes/Triclosan) et analyses physiques (granulométrie et analyses enzymatiques)
 - o Partie de l'échantillon > 2mm envoyée au labo de l'ENPC à Champs.

Seuls le méthylparabène (MeP) et le triclosan (TCs) ont été quantifiés dans les échantillons de sols. Les concentrations des autres composés analysés de la famille des parabènes (éthyl-, propyl-, benzyl-, isobutyl- ; butyl-) ont été mesurées en dessous de la limite de quantification. Elle est identique à celle du MeP ; soit 0.03 mg/kg.

Le rendement moyen obtenu pour le PrPd4 (étalon « surrogate ») utilisé pour suivre la qualité de l'analyse est de 75%. Les rendements moyens obtenus pour les étalons d'injection MePd4 et TCSd3 sont respectivement de 89% et de 74%. Aucun effet matrice n'a été observé pour les deux étalons.

Les concentrations des parabènes et triclosans mesurées dans les échantillons sont parfois au-dessus de la limite de quantification. Cependant, elles sont peu significatives.

Les concentrations des parabènes et triclosans mesurées dans les blancs d'analyse ont systématiquement été inférieures aux limites de quantification.

Enzymologie

Les sols étudiés sont potentiellement impactés par des eaux usées. On sait que les eaux usées contiennent une forte proportion d'urée (N-NH₄) produite par le foie et la dégradation des acides aminés. On retrouve également dans les eaux usées des sucres issus de l'alimentation et l'on sait que la production d'enzyme est plus importante en présence de matière organique. Ainsi, ces nutriments étant bien représentatifs d'une pollution d'origine anthropique, notre choix s'est porté sur les enzymes uréase et β -glucosidase.

Il est très difficile de déterminer des valeurs précises pour les conditions optimales d'activité des enzymes car pour un même substrat dégradé, chaque microorganisme (champignon, bactérie...) va produire une enzyme dont la structure variera suivant l'espèce qui l'a produite. On mesure donc l'activité enzymatique globale produite par l'ensemble des individus présents dans l'échantillon. Cette diversité de structures enzymatiques au sein d'une même famille explique ainsi la difficulté de déterminer une valeur de pH et de température universelle. Cependant, on peut tout de même utiliser des valeurs moyennes de la littérature qui permettront de tirer des conclusions sur les résultats par la suite.

Une fois collectés, les échantillons de sol sont stockés dans une glacière maintenue au frais à l'aide de pains de glace jusqu'au retour au laboratoire. Les échantillons sont ensuite homogénéisés en cassant les mottes de terre et en mélangeant l'ensemble de l'échantillon. Par la suite une moitié de l'échantillon est replacé dans les bocaux en verre pour être lyophilisé et la seconde partie est congelée jusqu'à l'analyse des activités enzymatiques

Le protocole utilisé pour le dosage de l'activité de la β -glucosidase et l'uréase est celui de M.A. Tabatabaï (1982), et une modification du dosage a été apportée pour l'uréase en suivant la méthode décrite par Mathieu et Pieltain (2003). La mise au point du protocole a été effectuée par Christophe Saillé au Cnam de Paris qui a effectué tous les tests sur 6 enzymes dont les résultats sont présentés dans le rapport ANCRES – Enzymo 1, datant du mois d'octobre 2011. Contrairement au protocole, nous avons choisi d'effectuer les mesures de l'activité enzymatique sur des sols non séchés afin de limiter les risques de destruction des enzymes ou au contraire une production supplémentaire d'enzymes suite au changement de conditions du sol lors du séchage (température plus élevée, apport d'oxygène important, luminosité important...).

L'activité enzymatique de l'uréase a été mesurée sur l'ensemble des échantillons de sol prélevés dans l'Yonne. En revanche pour la β -glucosidase seul le site CLE a été étudié.

La première observation qui peut être faite à partir de ces résultats est que la mesure de l'activité enzymatique est toujours plus élevée pour les échantillons impactés par les eaux usées par rapport aux échantillons témoins (*Figure 14*). Cela permet donc très clairement d'affirmer que l'infiltration des eaux usées dans le sol conduit à un accroissement de l'activité enzymatique. On note ainsi une augmentation moyenne de 42% entre le blanc et l'échantillon impacté sur l'ensemble des prélèvements.

On remarque également que la profondeur de sol joue bien un rôle essentiel dans les niveaux d'activité enzymatique. Pour les échantillons collectés sur 3 profondeurs, l'activité enzymatique décroît avec la profondeur, aussi bien pour les échantillons témoins que pour ceux recevant les eaux usées. De même, le site présentant la plus forte activité enzymatique est le site EVE dont la profondeur de prélèvement n'est que de 15cm.

Il apparaît très clairement qu'il existe un rapport entre l'activité enzymatique et la teneur en matière organique du sol. En effet, pour le site EVE, qui possède les teneurs en carbone les plus importantes, on retrouve des activités enzymatiques élevées. A l'inverse, lorsque la quantité de carbone est très faible dans le sol, comme c'est le cas pour le site EGL, alors on observe des activités enzymatiques très faibles. Par ailleurs, on a constaté précédemment que la teneur en COP diminuait avec la profondeur et c'est également ce que l'on observe avec les activités enzymatiques. Ainsi, la corrélation entre l'activité enzymatique de l'uréase et de la β -glucosidase avec le COP est de 0,75.

Pour l'avenir, l'utilisation de la mesure de l'activité enzymatique peut être simplifiée par l'utilisation de plaques prêtes à l'emploi (ex : API-zyme) permettant une détection semi-

quantitative de l'activité de plusieurs enzymes simultanément par l'apparition d'une coloration plus ou moins importante. Il est aussi envisageable d'utiliser un substrat unique (la fluorescéine di-acétate) dégradé par plusieurs enzymes de nature différente (hydrolysé par des lipases, des protéases, des estérases, etc.), ce qui permet une mesure quantitative de l'activité globale présente dans le sol. La simplification de la mesure permettra d'aboutir à un indicateur des plus pertinents pour révéler l'impact de l'infiltration des eaux usées sur le sol : la mesure de l'activité enzymatique.

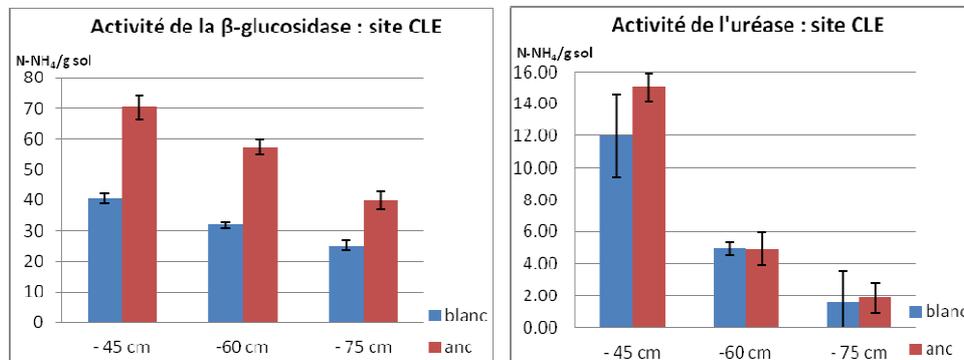


Figure 14. Activités enzymatiques comparées entre le sol sous l'ANC et le blanc du sol à distance.

4. CALENDRIER PREVISIONNEL DE FIN DE PROJET

Les difficultés rencontrées ainsi que les actions correctives proposées

La principale difficulté concerne la mise en œuvre de l'approche SIG régionale. En raison des contraintes multiples sur chaque site, peu de sites correspondent vraiment aux cas théoriques prévus par la réglementation, cas typiques sur lesquels nous avons élaboré au départ la problématique. Cette difficulté affecte déjà les tâches 3 et 4 et affectera les tâches 6 et 7. Nous renonçons à la tâche n°8. Cependant, avec un peu de retard, nous réussirons à trouver un nombre suffisant de sites à peu près convenables. Mais il reste que le temps et les crédits disponibles pour parcourir la région, y faire des prélèvements et analyser les échantillons au laboratoire, sont presque consommés. Nous pourrions cependant proposer une structure de SIG, à défaut d'avoir un grand nombre de données qui pourraient s'acquérir dans le cadre d'un autre projet.

La seconde difficulté réside dans la durée et le temps de travail passés pour instrumenter un site, non pas sous-estimée au départ mais grandement accrue par des aléas météorologiques et commerciaux que nous ne pouvions pas anticiper. Le travail effectué sur le premier site ne laisse aucun doute sur les délais et l'investissement en hommes.x mois qui seraient nécessaires pour en instrumenter un second. Nous ne pouvons pas nous engager dans cette tâche sans une prolongation de la durée du projet de 9 mois, le recrutement d'un stagiaire pour 6 mois, et une rallonge d'investissement de 25 000 euros. Pour le moment, nous proposons plutôt de valoriser au maximum le pilote in situ déjà opérationnel et de décider ultérieurement de l'intérêt d'un second site pilote et de ses spécifications. Le problème sera donc posé au CS de GESSOL au printemps 2013. Nous avons donc décidé de réduire à 1 seul site de suivi continu la tâche n°5 qui s'en trouve du coup réalisée presque à 100%.

Ces décisions aboutissent à une proportion de réalisation du projet de 420 sur 800 (au lieu de 900) à mi-parcours. Un engagement plus fort des partenaires sur la deuxième moitié du projet permettra de réaliser les objectifs non encore atteints.

Le lancement de la tâche n°4 de suivi discret des traceurs des eaux usées traitées (1 campagne de mesures sur 10 sites prévue tous les deux mois pendant 1 an) est retardé. Cette tâche était conçue pour appréhender la variabilité saisonnière de la composition d'eaux traitées rejetées en surface (au fossé), ou bien en profondeur si l'on était en mesure de développer des préleveurs simplifiés d'eau

interstitielle. Ceux-ci restent actuellement à trouver ou à inventer, mais les forces semblent manquer pour avancer sur cette voie. Les rejets superficiels seront donc privilégiés.

L'organisation de cette tâche est actuellement en discussion. Le départ de l'ingénieur de recherche, chef de la cellule technique du LEESU, a retardé la discussion. Selon le partenaire IRSTEA, le déménagement imminent du Laboratoire d'analyses physicochimiques des milieux aquatiques sur le campus de La Doua (Villeurbanne) ne devrait pas avoir de conséquence sur le projet, mais son intervention n'est pas encore clairement définie. Cette tâche, autant que d'autres, est aussi affectée par la recherche de sites. Les crédits pour les déplacements manquent. Son achèvement est retardé de 6 à 9 mois et est visé au plus tard pour juin 2013.

Pour le reste le calendrier reste inchangé. Sur la base de l'ensemble du travail méthodologique réalisé, nous allons prochainement définir l'indicateur et tenter de l'expérimenter sur une dizaine de sites d'ANC.

5. STRATEGIE DE PARTENARIAT AVEC LE MONDE SOCIO-ECONOMIQUE ET PERSPECTIVES EN TERMES DE TRANSFERT

Le partenariat avec la société Burgeap permet de projeter le développement d'un prototype de test - anneau d'infiltration de grand diamètre (80 cm).

Le partenariat avec Irstea a pour finalité d'intégrer de nouvelles connaissances dans son activité de normalisation.

Le partenariat avec le Cete IdF aboutira à un retour d'expérience vers le Ministère.

Le partenariat avec des SPANCs produira un guide méthodologique adapté à leurs besoins.

6. PERSPECTIVES DE VALORISATION DES TRAVAUX

Publications scientifiques parues ou en préparation

Renaud St., Fouché-Grobla O., Saillé Ch., Nasri B. Bilan hydrologique d'un bassin versant vulnérable en zone de socle et prévision des crises. *La Houille Blanche* (soumis en avril 2012).

Bensalah A., Diebolt J., Fouché-Grobla O. Modélisation de l'anisotropie d'un réseau de discontinuités en 3D par un mélange de lois de probabilité. *Canadian Geotechnical Journal* (soumis en juillet 2012).

Communications à des congrès

Renaud St., Fouché-Grobla O., Saillé Ch., Nasri B. Bilan alimentation / prélèvements du bassin versant Arroux-Bourbince. Communication orale au colloque de l'AFEID, *GroundWater 2011 : Gestion des ressources en eau souterraine*, 14-16 mars 2011, Orléans, France.

Fouché-Grobla O. Saillé Ch., Drouet F., Seidl M., Nasri B. Perception des fonctions du sol par les usagers de l'assainissement non collectif. Communication orale aux 11^{èmes} Journées d'Etude des Sols, 19-23 mars 2012, Versailles, France.

Nasri B., Fouché-Grobla O., Saillé Ch., Forquet N., Dubois V. Conception d'un pilote instrumenté pour l'étude des fonctions du sol en assainissement non collectif. Communication poster aux 11^{èmes} Journées d'Etude des Sols, 19-23 mars 2012, Versailles, France.

Fouché-Grobla O., Yao K.Th., Salavati B. Stochastic and Fractal analysis of fissure networks in rock or soils. Oral communication, *PedoFract VII* : Int. Workshop on Scaling in Particulate and Porous Media Modeling, 14-17 mai 2012, A Coruna, Espagne.

Nasri B., Fouché-Grobla O., Saillé Ch., Forquet N., Seidl M., De Laure E. Field monitoring and sampling of infiltrated soil water under on-site treatment systems for domestic wastewater: evaluation of soil functions. Oral communication, EuroSoil 2012, 4th Int. Congress of the ECSSS, 2-6 juillet 2012, Bari, Italie.

Rapports de stage

Renaud Stéphane, 2011, CNAM (encadrant Fouché-Grobla O.). La ressource en eau du bassin versant de l'Arroux.

Drouet Fanny, 2011, ENPC (encadrant Saillé Ch.). Évaluation de la perception par les particuliers des fonctions du sol et de l'impact environnemental de leurs usages du sol. Université Panthéon Sorbonne.

Reboza Tony, 2011, ENPC (encadrants Nasri B., Fouché-Grobla O. Indicateurs texturaux pertinents pour l'infiltration des eaux traitées en assainissement non collectif.

Thomas Gaël, 2011, CETE IDF – LROP (encadrants Berthier E. et Ramier D.). Infiltration de l'eau dans les sols : Développement et utilisation d'infiltromètres. IUT d'Orsay Mesures physiques.

Bensalah Antoine, 2011, ENPC (encadrant Fouché-Grobla O.). Modélisation de l'anisotropie d'un réseau de discontinuités 3D par mélanges de lois de probabilités.

Le Roy Maria, 2011, ENPC (encadrants Verliefe A., Fouché-Grobla O.). Removal of pharmaceuticals during river bank filtration. Université de Delft, Pays-Bas.

Hélicher Matthieu, 2012, ENPC (encadrants Nasri B., Seidl M.). Evaluation de l'impact des dispositifs d'assainissement non collectif sur le sol.

Amamou Chahrazad, 2012, PolyTech CF (encadrant Breul P.). Modèle de terrain pour l'étude des performances épuratoires de sols naturels.

Léger Emmanuel, 2012, CETE IDF – LROP (encadrants Berthier E. et Ramier D.). Infiltration en milieu urbain. Université Paris SUD.

Hélicher M., Jia N. et al., 2012, ENPC (encadrants Deroubaix J.-F., Seidl M.). Projet multidisciplinaire. Acceptabilité de la mise en conformité des dispositifs ANC en fonction de l'environnement physique de l'utilisateur.

Lemaire Tristan, 2012, ENPC (encadrant Deroubaix J.-F.). Formes de conflictualité dans la mise en œuvre des services publics d'assainissement non collectif (SPANC).

Publications de valorisation/transfert - Séminaires

Fouché-Grobla O. Le projet ANCRES – Assainissement Non Collectif : Rétention et Épuration par les Sols. Communication orale au séminaire de suivi du programme GESSOL 3, 16-18 mai 2011, Tours, France.

Nasri B. The emerging pollutants and individual wastewater treatment system: What about the role of soil in purifying the treated wastewater? Oral communication, 3rd seminar of European PhD students working in the field of Water & Health, 27-29 juin 2011, Cannes, France.

Nasri B. Le sol, milieu récepteur des eaux usées traitées. Evaluation de l'impact de l'infiltration sur les fonctions du sol : rétention, affinage, transfert.

Communication orale au séminaire du laboratoire, LEESU – Ecole des Ponts – UPE – AgroParisTech, 3-4 juillet 2011, Champs-sur-Marne, France.

Fouché-Grobla O. L'objectif du projet ANGRES – La mise en place d'un indicateur intégratif pour la gestion du potentiel épurateur des sols soumis à l'infiltration en ANC. Communication orale aux 8^{èmes} Assises nationales de l'ANC – 26 et 27 octobre 2011, Metz, France.

Liste des brevets déposés ou en cours de dépôt se rapportant aux résultats

Néant

Autres (à préciser)

Néant

7. BIBLIOGRAPHIE

VOIR SECTION 6 POUR LES PUBLICATIONS.

Un rapport bibliographique du doctorant B. Nasri concernant le devenir de certains micropolluants dans les sols est en ligne sur le site du projet.

Une bibliographie a été faite par B. Nasri sur la caractérisation de la texture des sols, sur la métrologie de l'infiltration, et sur les relations de dépendance de l'une à l'autre (fonctions de pédotransfert). Elle n'est pas encore mise en ligne.

