

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

BUILDING AN INTEGRATIVE INDEX FOR MANAGEMENT OF THE DEPURATOR FUNCTION OF SOILS SUBMITTED TO INFILTRATION UNDER ON-SITE SANITATION SYSTEMS

Olivier Fouché-Grobla
Leesu – Ecole des Ponts

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

olivier.fouche@enpc.fr
olivier.fouche@cnam.fr

Synthèse du rapport final
15 mai 2014

Avant-propos

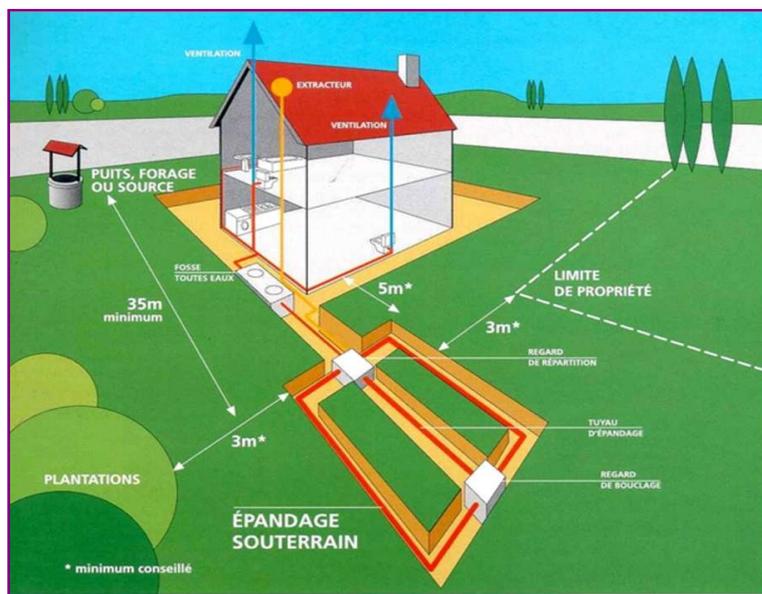
En France, l'assainissement non collectif (ANC) relève de la gestion de l'eau et bien que le sol et l'utilisateur y jouent un rôle primordial, celui-ci n'est pas encore reconnu à sa juste valeur. On peut voir le projet ANGRES comme une double tentative qui s'adresse aux gestionnaires de l'eau et de l'assainissement et aux scientifiques du secteur, pour leur faire reconnaître le rôle du sol en assainissement des eaux usées et le statut de mode de gestion alternatif de l'ANC face aux tenants du réseau de collecte centralisé. Dans cette démarche, le projet a rencontré de fortes résistances et des vexations, mais aussi quelques succès. On considère comme l'un des principaux résultats du projet d'avoir contribué au changement de point de vue de certains scientifiques sur le rôle du sol et de l'utilisateur en gestion de l'eau. Nos remerciements vont au programme GESSOL qui a pris le risque de soutenir le projet en permettant à cette problématique de sortir de la marginalité.

Introduction : l'ANC et le sol

L'assainissement non collectif (ANC) est un mode de gestion des eaux usées alternatif à la gestion par un réseau (assainissement collectif) et consistant, sur le plan technique, en un dispositif installé dans le sol de la parcelle privée et relié de près (quelques mètres) à l'habitation (figure 1). Il existe une diversité de filières techniques. Du point de vue de l'eau, quelle que soit la filière technique, le dispositif consiste en une chaîne de trois actions exercées successivement sur les eaux usées de la maison (donc, hors eau de pluie) :

- digestion anaérobie des déchets issues des eaux vannes et eaux grises, en fosse septique « toutes eaux » enterrée (FSTE), évacuant les gaz par une cheminée au toit de l'habitation et produisant une eau usée brute chargée ;
- traitement de l'eau brute par filtration* aérobie directe dans le sol s'il est apte, ou dans un matériau rapporté constituant un massif filtrant encaissé dans le sol s'il est inapte, ou encore dans un système préfabriqué qui est souvent installé dans le sol ;
- rejet des eaux usées traitées au milieu récepteur, en général le sol lui-même, soit en surface où l'eau traitée rejoint le ruissellement, soit en profondeur par infiltration.

Le sol est toujours concerné par l'ANC, seul variant l'épaisseur de sol sollicitée et l'intensité du service demandé au sol. L'épaisseur de sol concernée, en incluant l'horizon nécessaire au rejet (un



forfait de 40 cm dans tous les cas), est de 40 cm à 160 cm selon la filière technique mise en place. L'intensité du service en phase d'exploitation dépend du débit instantané maximum à évacuer (selon la consommation d'eau) et de la filière installée.

Pour le rejet des eaux traitées en ANC, et encore pour le seul cas du rejet superficiel, typiquement dans un fossé où l'eau va à la fois ruisseler et s'infiltrer, un analogue par changement d'échelle serait l'épandage des eaux traitées issues des stations d'épuration.

Figure 1. Schéma de l'ANC et distances réglementaires minimales.

Ce changement d'échelle paraît intuitif mais en fait, il est non trivial dès que l'on tente de dimensionner la technique de rejet : en effet, ce changement d'échelle s'exprime dans le débit et la quantité d'eau à évacuer et dans la façon de s'y prendre, ainsi que dans la qualité de l'effluent, mais aussi dans l'action des caractères physiques du site tels que la pente du sol, l'épaisseur de la zone non saturée ou sa perméabilité. Il n'est pas possible de fixer une règle pour le rejet d'un dispositif ANC à partir d'une règle existant pour le rejet d'une STEP. Outre la différence de fonctionnement hydraulique, la parcelle est habitée et le dispositif est utilisé et entretenu par l'habitant usager de l'ANC, ce qui n'est pas le cas d'une aire d'infiltration de STEP... Ainsi, l'efficacité de l'ANC dépend-elle beaucoup du comportement de l'utilisateur et des usages qu'il a du sol, et la connaissance des propriétés physiques du sol ne suffit-elle pas à prévoir la durabilité de l'ANC.

Objectifs généraux : identifier des indicateurs pour les fonctions du sol en ANC

Le projet de recherche ANCRES s'intéresse aux fonctions (au sens à la fois de processus et de service rendu) du sol à l'égard de l'infiltration des eaux usées traitées (EUT), donc principalement lors du rejet. Les fonctions physiques en jeu sont au nombre de trois : évacuation, épuration, et rétention par le sol. Le sol est le premier maillon du milieu récepteur des eaux usées traitées en ANC, puis s'effectue le transfert au milieu récepteur souterrain (l'aquifère) et superficiel (la rivière). On doit donc distinguer l'évacuation, qui est une fonction à l'égard de l'ANC, et le transfert, une fonction du sol qui n'est pas en rapport direct avec le fonctionnement de l'ANC. Le projet s'intéresse aussi aux fonctions du sol de la parcelle du point de vue de l'utilisateur du dispositif et usager de l'ANC : récréation, plantation, occupation, circulation... qui peuvent entrer en contradiction avec les trois fonctions définies envers les eaux usées. Seul l'habitant se préoccupe de ces autres fonctions. Mais les concilier n'est pas seulement l'affaire de l'habitant : le service public de l'ANC (SPANC) partage avec l'usager la charge du pilotage des fonctions du sol pour l'ANC, bien qu'avec des modalités et des objectifs différents : réduire l'impact sanitaire et environnemental est l'objectif affiché (figure 2).

La faisabilité de l'ANC est donc contrôlée autant par les fonctions de la parcelle en surface que par les fonctions du sol en ANC. De la difficulté de concilier des fonctions utiles à des usages distincts mais simultanés peut naître une certaine conflictualité entre l'habitant et le SPANC. C'est pourquoi la perception de l'usager et la mise en œuvre de la politique publique de l'ANC sont des facteurs aussi importants que les propriétés physiques des sols dans l'évaluation de la faisabilité et de la durabilité de l'ANC. L'objectif du projet est de proposer une méthode pour croiser des indicateurs physiques et des indicateurs sociotechniques et en déduire un indicateur intégratif du potentiel des sols pour l'ANC : ces indicateurs doivent caractériser la faisabilité, l'acceptabilité, l'efficacité et la durabilité de l'ANC. Nos terrains d'action se situent en Bourgogne et en Ile-de-France.

Le projet aborde donc 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 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 est-il influencé par leur connaissance ou leur point de vue sur le sol ? Quelles relations 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 ? Comment ces relations influencent-elles la stratégie de mise en œuvre du service public en la matière ? 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 interrogations. Les items des questionnaires sont autant d'indicateurs sociotechniques possibles et la sélection sera abondante.

Figure 2. Photo d'un rejet par un restaurant sur une falaise littorale : une image de l'impact sanitaire et environnemental. Olivier Fouché, 2013.

Les questions physiques posées sont pluridisciplinaires, faisant intervenir des paramètres chimiques, biologiques, physiographiques... Comment estimer l'efficacité épuratrice ou évacuatrice d'un sol ? Peut-on quantifier le rôle d'affinage* du sol sous un dispositif de traitement en ANC ? Comment décrire la sollicitation hydraulique du sol sous un dispositif ? Comment caractériser l'aptitude d'un sol à évacuer les EUT qui est essentielle dans la faisabilité de l'ANC ? Peut-on améliorer un sol en vue de l'évacuation des EUT ? Comment caractériser l'impact sur le sol de l'infiltration des EUT après des années d'exploitation, ce qui est essentiel pour préciser la notion d'impact environnemental ? Pour caractériser un sol, peut-on remplacer des essais in situ par d'autres plus légers ou rapides ou par des essais de laboratoire ?

Les paramètres qui interviennent dans les réponses à ces questions sont autant d'indicateurs physiques possibles mais de quoi ? Il faut distinguer l'aptitude et l'impact. Etant donné la complexité du problème de l'aptitude, il est impossible de le réduire à un petit nombre d'indicateurs et il faut mettre en œuvre une procédure de notation et de classification. Il faut ensuite croiser ces classes avec les indicateurs socio-techniques.

Quelques éléments de méthodologie

On a construit un dispositif d'assainissement pilote (figure 3 et 4) équipé de tensiomètres, de sondes de profil de teneur en eau, et de plaques poreuses enfouies dans le sol et reliées à des pompes. Le suivi hydrodynamique a mis en évidence le régime hydraulique particulier auquel est soumis le sol. Ce site pilote installé à Ouanne offre 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, triclosan) ont commencé sur ces eaux en vue de quantifier l'efficacité épuratoire du filtre et du sol. Ce site pilote est un outil unique qui devrait servir de point d'appui pour lancer de nouveaux projets pour étudier le transfert des polluants à la nappe et au milieu superficiel et estimer l'impact sur le milieu récepteur.



Avant le remplissage de l'excavation par du sable, des échantillons du sol ont été prélevés au fond et des essais de perméabilité avec l'appareil Guelph y ont été effectués afin de mesurer la conductivité hydraulique à saturation K_s du sol sur 15 m² (1 essai pour chaque m²). Dans des trous creusés à la tarière de diamètre 6 cm, ces essais ont été faits sous une charge constante de 5 cm dans chaque trou. Ce qui est mesuré par le Guelph, c'est la perméabilité du sol qui intègre l'effet des fractions grossières et fines* du sol (figure 10 C).

Figure 3. Photo du site pilote instrumenté (tensiomètres, sondes de teneur en eau) avant son recouvrement par la

terre végétale. Olivier Fouché, 2011.

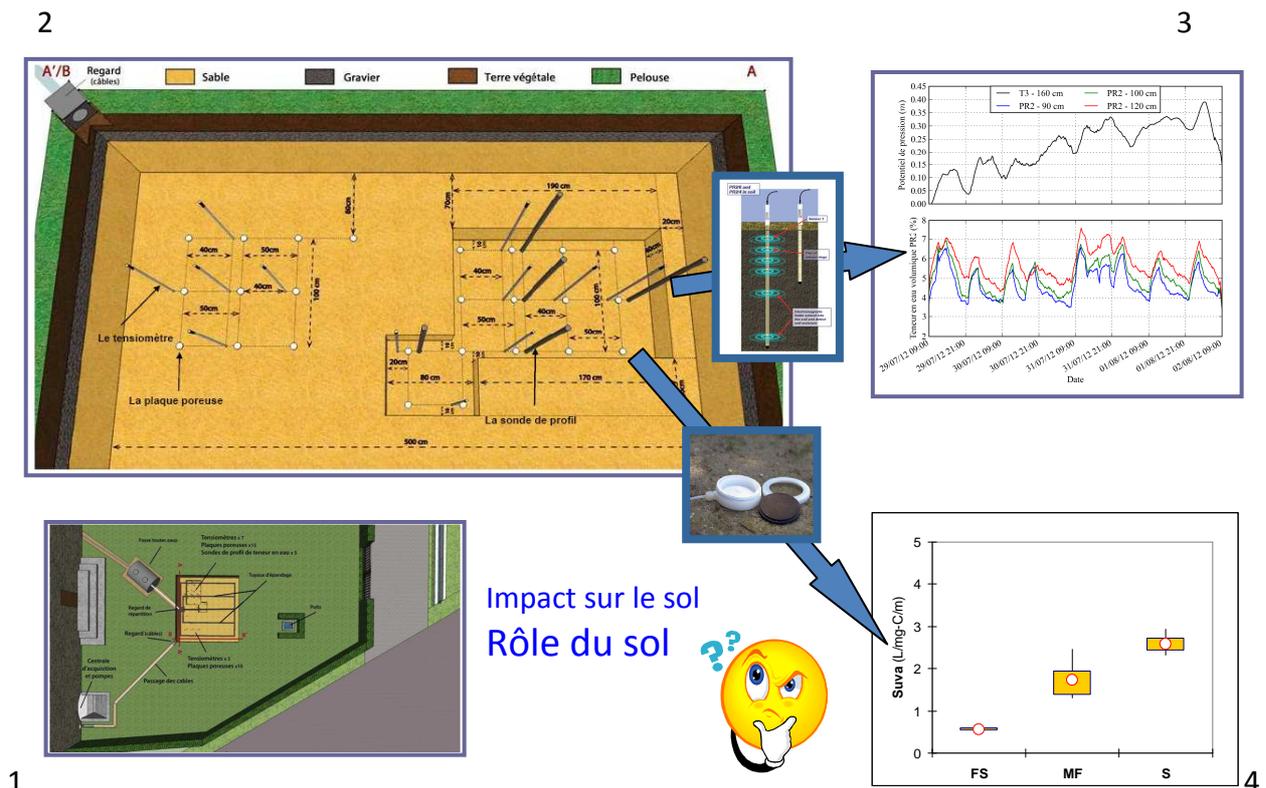


Figure 4. Vue aérienne de la rue, du puits, et du filtre à sable relié à la maison via la fosse septique et à la centrale via le câblage et les capillaires. Zoom écorché du site pilote : instrumentation.

Enregistrement continu de la teneur en eau et du potentiel. Evolution de l'indice SUVA exprimant l'augmentation de l'aromaticité du C au cours du traitement par le sable puis le sol. D'après les illustrations de B. Nasri, N. Guerguadj, D. Ramier, F. Arfi, ANGRES, 2013.

Par ailleurs, en utilisant les résultats de la texture et de la matière organique obtenues par des essais physiques sur la matrice fine des 15 échantillons du sol au laboratoire, la conductivité hydraulique aux 15 points d'essais a été estimée par trois fonctions de pédotransfert (K_s -FPT) issues

de la bibliographie et développées pour les sols homogènes : la perméabilité estimée est d'abord directement liée à la matrice fine du sol. Puis, en utilisant d'autres Ks-FPT couplées avec des fonctions de pédotransfert estimant la densité apparente du sol (Bd-FPT), et en prenant en compte la fraction grossière (cailloux), le résultat de l'estimation est comparé à la conductivité hydraulique mesurée in situ aux 15 points d'essais, ce qui permet de sélectionner le meilleur couplage Ks-Bd-FPT pour chaque type de sol.

Ainsi le sol du site pilote est-il complètement caractérisé et même, modélisé par ces fonctions.

La procédure de recherche de la meilleure fonction de pédotransfert pour chaque type de sol est applicable à tous les sols et c'est un moyen puissant de les caractériser. Pour cela, il faut un protocole de prélèvement des échantillons de sols. Une première méthode consiste à prélever des carottes à la tarière manuelle et à extraire à la tarière thermique 5 à 10 kg de sol entre 70 cm et 100 cm de profondeur pour les soumettre aux tests de caractérisation qui fournissent les indicateurs d'aptitude et permettent la recherche de la meilleure FPT.

Une deuxième méthode consiste à prélever des échantillons de sols à la gouge fenêtrée en vue d'analyses chimiques et enzymologiques sur les sols afin de caractériser l'impact de l'ANC. Suivant le type d'installation, l'interface filtre / sol ne 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 80 cm, une seule gouge de 1 mètre suffira pour faire le prélèvement. En revanche, si elle est plus importante, nous devons procéder en deux passes. Un tassement de la carotte est observé lors du carottage au marteau piqueur avec un taux de l'ordre de 25% de la profondeur atteinte dans la zone d'épandage. Il est moitié moindre dans la zone non impactée où est prélevé le blanc. Cette différence peut être due au remaniement du sol dans la zone d'épandage ou à une néo-structuration, le sol est moins consolidé donc plus susceptible de tasser.

Le projet vise à quantifier des composés organiques hydrophiles au sein de dispositifs d'ANC. Cependant, les concentrations généralement retrouvées dans l'eau interstitielle étant de l'ordre du µg/l voire du ng/l, un premier travail d'établissement des protocoles d'extraction des parabènes (PBs) et triclosan (TCL) a été nécessaire pour les différents types d'eau étudiés dans notre pilote (eau de la fosse toutes eaux, eau filtrée-traitée par le massif filtrant, eau filtrée-affinée par le sol). Deux protocoles ont donc été suivis (figure 5) selon que la matrice est liquide (eaux du site pilote) ou solide (échantillons de sols). 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).

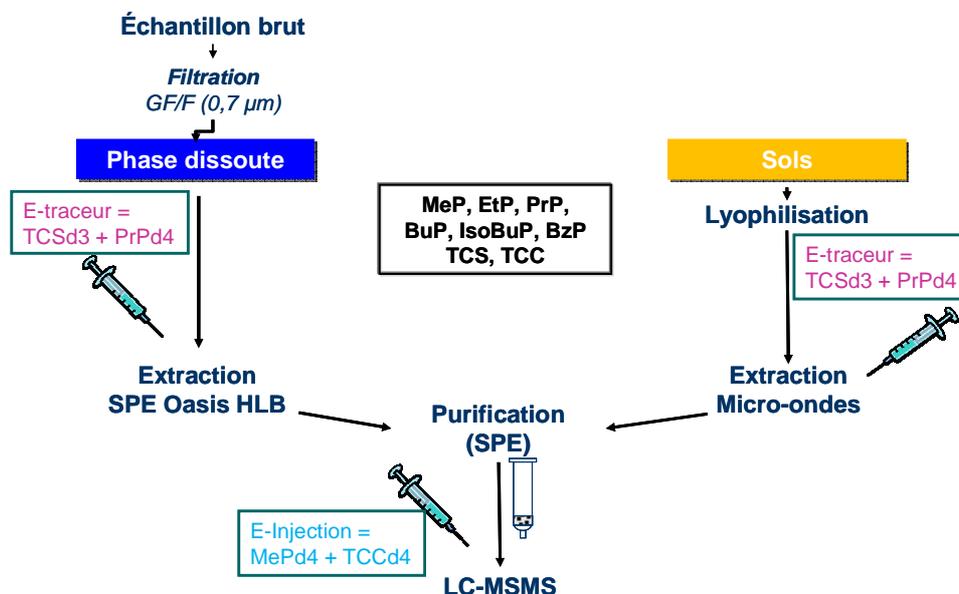


Figure 5. Procédure analytique suivie pour le dosage des parabènes et du triclosan dans l'eau interstitielle et dans un échantillon de sol. Thèse de M. Naah, 2013.

Méthodologie pour la sélection de questions ayant des qualités d'indicateurs socio-techniques sur l'aptitude de l'utilisateur à l'ANC

L'objectif initial du projet était d'élaborer un indice socio-technique qui serait 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, pour définir l'aptitude de l'utilisateur à l'ANC. Il n'est pas finalisé à ce jour. 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'utilisateur et son système d'ANC.

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 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.

Ces deux questionnaires ont été testés sur le territoire choisi dans l'Yonne, puis un second test a été réalisé sur le second territoire choisi en Seine-et-Marne.

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.

La typologie des questions distingue 5 champs : Information, Connaissance, Comportement, Perception, Opinion. Un équilibre est recherché entre les 4 derniers champs.

On a réalisé au préalable une grille d'interprétation de chaque questionnaire. En confrontant cette grille aux réponses, on a conclu que certaines questions sont mal posées, ou mal comprises, d'autres ne sont pas interprétables ou le sont difficilement, d'autres révèlent des incohérences dans les réponses, d'autres ne sont pas discriminantes. On les a modifiées ou supprimées dans la version livrée en 2014.

Exemple de question et d'interprétation. « Habituellement, lorsque vous utilisez des produits ménagers, de bricolage ou de jardinage : - Portez vous des gants ? - Portez vous un masque ? »

Cette question permet de comprendre si je fais attention à ma santé en utilisant des produits toxiques : c'est normalement la première étape dans la conscience vers le danger pour l'environnement. Cette question est croisée avec celle sur la perception de l'impact sanitaire de l'ANC.

- Une réponse affirmative implique que les personnes interrogées sont conscientes du danger que représente l'utilisation de certains produits même à faible dose.

- Une distinction entre port de gants et port de masque indique une connaissance des effets sur l'homme : voie cutanée pour les produits solides ou liquides (port des gants), voie respiratoire (port du masque) pour les produits volatils.

Ce travail donne un aperçu, auprès d'une population ciblée, de la sensibilité des particuliers sur la question de l'utilité des sols et de leur valeur écologique et de la responsabilité individuelle quant à la préservation des sols. Il donne ensuite un aperçu, auprès d'une population ciblée, du rapport qu'entretiennent les usagers avec leur équipement et le fonctionnement de leur ANC.

Résultats obtenus sur l'aptitude des usagers et les trois fonctions des sols

Des indicateurs socio-techniques sur l'aptitude de l'utilisateur à l'ANC

Au cours du travail d'enquêtes et d'entretiens avec les acteurs a été identifié le besoin d'une connaissance scientifique qui soit capable d'affermir la notion d'impact sanitaire et environnemental. Avant de présenter les éléments de connaissance acquis pendant le projet sur l'impact de l'ANC, il est nécessaire d'évaluer l'aptitude des usagers à exercer le pilotage nécessaire des fonctions du sol pour un ANC efficace et durable.

Plusieurs modes d'acquisition des indicateurs sociotechniques sont envisagés : en mode progressif, servant surtout à vérifier les effets de l'activité régulière du SPANC, un questionnaire peut être déposé par le technicien SPANC le jour de sa visite, à remplir plus tard et à renvoyer sous une semaine avec une enveloppe timbrée ; le développement du prototype de SIG permettra de soumettre le questionnaire en ligne aux utilisateurs du site web ; les réunions publiques sur l'ANC offrent un autre moyen. En mode prospection ou planification, il est nécessaire d'organiser un routage de courrier à toute une population afin d'acquérir une image instantanée. Une campagne de diagnostic initial serait une bonne occasion pour acquérir un état initial de la population.

La perception par les usagers des usages et fonctions du sol de leur parcelle et de l'évacuation de leurs eaux usées a été évaluée au moyen de deux enquêtes préliminaires dans l'Yonne : l'une par entretien face à face sur la perception du 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.

Les résultats de ces enquêtes effectuées auprès de la population sélectionnée, majoritairement des foyers ayant réhabilité ou construit récemment leur dispositif, montrent que le répondant :

- perçoit l'importance de l'ANC pour sa qualité de vie ;
- est globalement satisfait du dispositif technique d'ANC mais sans être convaincu qu'il soit meilleur que le raccordement au collectif ;
- connaît assez bien le fonctionnement du dispositif d'ANC mais juge, en large majorité, qu'il n'est pas assez informé sur celui-ci ainsi que sur les règlements ;
- pense à 50 % que l'ANC a un impact sur les sols (figure 6) et les eaux souterraines ; mais pas qu'il ait des effets néfastes sur la santé ;
- affirme avoir déjà pensé à la qualité des sols qu'il laissera à ses enfants et essaie de limiter son impact ; de plus, il s'est déjà renseigné sur l'utilisation précédente de son terrain. Il veut savoir ce qu'on lui a transmis et ce qu'il va transmettre.
- est convaincu de la responsabilité de chacun pour améliorer l'environnement et la qualité du sol en particulier.

La comparaison des résultats de l'Yonne avec ceux obtenus en Seine-et-Marne est révélatrice. Les usagers (49 répondants) ont là aussi une bonne connaissance de leur dispositif. A Chartrettes, 72 % des usagers connaissent leur dispositif de traitement et 76 % en connaissent les différentes composantes. Sur le rôle du sol dans l'ANC : filtre (35 %), absorbeur (35 %), ne sait pas (30 %) ; les usagers sont partagés, le déficit de connaissance est flagrant. On retrouve aussi le décalage déjà vu dans l'Yonne entre la faible inquiétude sur le plan sanitaire pour soi-même et la forte intuition d'un impact sur les sols et les nappes : à Bois-le-Roi, 50 % pense qu'un dysfonctionnement peut avoir un impact sur leur santé, et 83 % sur le sol. Comment un rejet ayant un effet négligeable sur la santé de l'habitant de la parcelle pourrait-il avoir un impact environnemental significatif ?

Outre cette réponse quasi unanime sur l'impact, tous les usagers sondés sont aussi conscients que le sol est un milieu vivant. Ils possèdent tous une maison avec jardin et 73 % n'utilisent pas de pesticides. La plupart trie ses déchets et économise l'eau (80 %, dont 85 % pour l'environnement). Contrairement à l'hypothèse de base qui domine la communication de certains SPANC, on n'observe pas de corrélation entre cette sensibilité environnementale des usagers et :

- l'acceptabilité du service et des modalités de contrôle, d'une part,
- la mise en conformité ou la volonté de se mettre en conformité, d'autre part.

Globalement, on conclut que l'utilisateur de la population interrogée, sélectionnée, est préoccupé et réceptif mais pourrait piloter mieux les fonctions du sol en ANC s'il en avait plus de connaissance. Dans le rapport sociopolitique du projet, on propose une interprétation sur la mésentente entre l'utilisateur et le SPANC concernant les fonctions du sol, qui donne une orientation sur la façon de croiser des indicateurs physiques et sociotechniques.

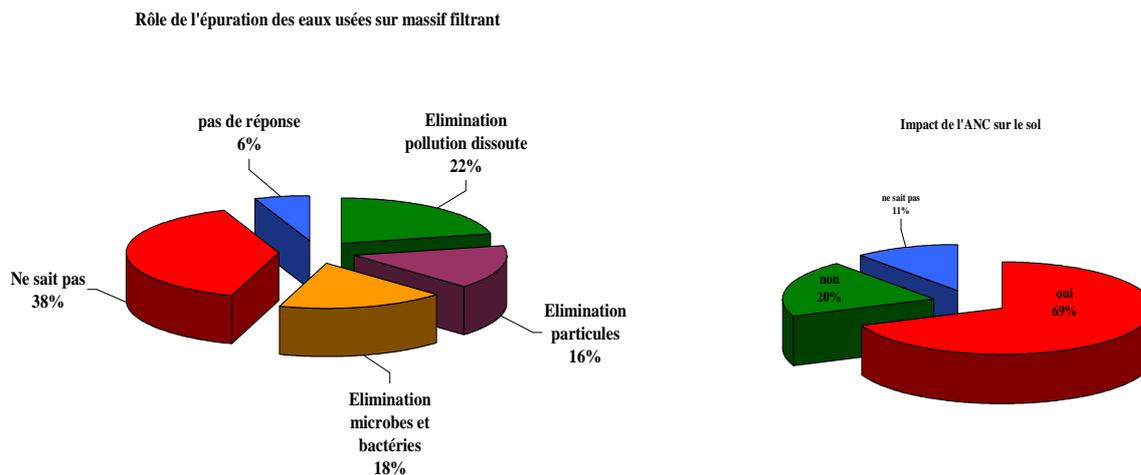


Figure 6. Un indicateur de connaissance de l'utilisateur sur l'épuration en ANC (à gauche, ici : faible connaissance du traitement) et un indicateur de perception de l'impact sur le sol (à droite – rouge : fort impact imaginé à 69 %, vert : faible impact imaginé). F. Drouet, 2011.

Croiser des questions sociotechniques et physiques

L'hypothèse de travail est qu'il existe un préjugé sur le sol, qui serait capable de l'avis général d'affiner les eaux infiltrées incomplètement traitées, et d'un avis encore largement partagé, d'épurer tout court, donc de traiter les eaux usées. Ce préjugé sur le sol met en doute, pour le particulier, le bienfondé d'un dispositif de traitement élaboré, coûteux ou encombrant qui devrait être interposé entre l'habitant et le sol. Le particulier focalise sur l'évacuation et a tendance à confondre affinage* (lors de l'évacuation) et traitement. Le législateur focalise, encore plus que par le passé, sur l'étape du traitement et sur le dispositif, en négligeant de faire des recommandations pour l'évacuation et l'affinage*. Une divergence de point de vue existe donc au fondement même de l'ANC et pose un problème complexe d'acceptabilité et de mise en œuvre de la politique publique. Celle-ci recherche une justification sanitaire et environnementale mais ne la trouvant pas ou pas assez, elle n'est pas à l'abri de tomber dans l'hygiénisme ou d'être considérée ainsi. Le dispositif réglementaire ajoute en tout cas des contraintes à celles du dispositif technique. Le déficit de connaissance scientifique sur l'impact sanitaire et environnemental et sur le rôle du sol est la clé de voûte de la mésentente entre collectivité et usagers, née lors de la mise en place du SPANC et qui peut durer, obérant l'acceptabilité de l'ANC et sa durabilité. En s'appuyant sur cette hypothèse qui s'est vérifiée au cours du projet, on arrive aux deux questions suivantes. Quelle connaissance scientifique serait légitime et apte à dissoudre la mésentente entre les acteurs ? Et comment leur transmettre cette connaissance pour les aider à améliorer finalement la gestion ?

L'idée maitresse de la réponse du projet ANGRES est qu'il faut territorialiser l'action du SPANC et des usagers en fonction du sol, de ses contraintes et de ses propriétés. En faisant intervenir des indicateurs physiques d'aptitude et d'efficacité de telle technique à l'égard des spécificités locales du sol, et en appliquant consciemment une méthode de transmission aux acteurs, on réussira à améliorer les indicateurs sociotechniques d'acceptabilité et de durabilité. Une approche a été élaborée au cours du projet mais dans un cadre différent du SPANC, celle d'un SAGE, organe participatif de gestion de l'eau sur un bassin versant : on s'est proposé de concevoir un cahier des charges général de l'outil scientifique apte à aider les acteurs à territorialiser leur action. De la conception à l'expérimentation, au SAGE ou au SPANC, il y a un grand pas encore à franchir : on y travaille par la communication (séminaire, SIG, formation...) et par le partenariat avec des SPANC (figure 16 B).

En attendant, on peut utiliser les deux familles d'indicateurs, physiques et sociotechniques, comme des paramètres d'état et les croiser pour obtenir une note de aptitude qui aidera les collectivités et les organes de financement à planifier la gestion de l'ANC. La mise en œuvre d'un SIG participatif apparaît finalement comme le meilleur moyen pour intégrer ces indicateurs.

La fonction évacuation du sol sous ANC : régime hydrodynamique, hétérogénéité du sol et écoulement préférentiel

Dans la littérature, les études sur le mouvement des bactéries à travers le sol, menées sur le terrain, ont démontré un mouvement rapide et une concentration élevée de bactéries dans les eaux infiltrées. Les phénomènes observés seraient dus à l'écoulement préférentiel dans des macropores, des fissures ou fractures, des trous de vers. L'écoulement préférentiel est souvent invoqué pour répondre à des observations surprenantes, mais il est peu étudié en tant que tel : on a fait une étude spécifique de ce phénomène dans le sol du site pilote. Pour le décrire, on utilise trois techniques : (i) Observation de la fouille, la plus directe ; (ii) Comparaison des conductivités hydrauliques mesurées in situ dans la fouille (figure 7) avec celles prédites par les Ks-FPT ; (iii) Analyse de la distribution spatiale de la teneur en eau et de la succion de l'eau suivies en continu dans le sol.

L'observation de la structure du sol varie de l'échelle microscopique (le MEB, très cher) à celle des profils et de la surface du sol (visuel, photographie). Ainsi, une observation directe au fond de l'excavation pendant une période pluvieuse a permis de visualiser des filets d'eau ayant un débit remarquable en trois points aux parois situées à l'amont de la fouille et de l'écoulement souterrain.

Pour chacune des Ks-FPT, les 15 valeurs de Ks prédites varient peu parce que la texture de la matrice fine est plus ou moins homogène. En revanche, la variabilité spatiale (deux ordres de grandeur) des 15 valeurs mesurées par l'appareil de Guelph sur le terrain est remarquable. Cette variation ne suit aucun ordre apparent et est due à la variation de la quantité, la forme et l'emplacement des cailloux dans le sol de chaque échantillon, qui crée une porosité structurale supplémentaire. La corrélation linéaire trouvée entre les Ks mesurées et les fractions R_w des cailloux, démontre l'effet positif de la quantité des cailloux dans le sol sur la conductivité hydraulique du sol. La variabilité spatiale de Ks révèle donc la distribution hétérogène des macropores (fraction des cailloux) dans le sol. Les valeurs mesurées de Ks sont deux ordres de grandeur en excès sur celles prédites pour la matrice, ce qui indique l'existence de chemins préférentiels dans le sol. L'existence de la fraction d'argile, avec alternance de séchage et humidification, mène à la construction d'agrégats et d'espaces lacunaires constituant un autre niveau de macropores de la porosité structurale. Un outil de modélisation statistique de la géométrie du réseau des fissures en familles 3D a été élaboré.

La troisième technique pour déduire l'existence d'un écoulement préférentiel repose sur la comparaison des chroniques de la teneur en eau et de la succion et l'analyse de leur variation spatiale sur le site pilote. Elle montre qu'en période pluvieuse, alors que la répartition de la pluie est uniforme sur la surface de la parcelle, la réaction de ces sondes à l'infiltration de la pluie n'est pas homogène. On a interprété cette hétérogénéité par l'existence de chemins préférentiels. Les observations sur les signaux enregistrés par les capteurs révèlent le régime hydrodynamique spécifique qui sollicite le sol sous le dispositif, régime cyclique (figure 4).

L'hétérogénéité de l'écoulement dans le sol ici démontrée à l'échelle d'une fouille explique la variabilité des résultats des mesures de conductivité hydraulique sur une parcelle. Une conséquence importante est la difficulté d'évaluer l'aptitude du sol à l'ANC sur ce critère. Les méthodes d'infiltrométrie ont été développées pour les sols homogènes et ne considèrent pas l'effet de l'hétérogénéité et des macropores dans le sol. On a testé plusieurs types d'essais et on a choisi le Guelph comme le plus représentatif du régime hydraulique dans le sol sous un ANC et sa moindre sensibilité aux macropores. On le recommande pour caractériser la fonction d'évacuation au lieu de généraliser l'essai mal normalisé connu sous le nom d'essai Porchet qui est encore présent dans le DTU 64.1 pour caractériser l'aptitude du sol à l'épuration (traitement). Si la conductivité hydraulique du sol est insuffisante à la profondeur ciblée pour l'évacuation des eaux usées traitées, une amélioration du sol par ajout de grave* est préconisée par le projet.

On a développé une procédure de sélection des meilleures Ks-FPT capables de reproduire, grâce à la prise en compte de R_w et de certains paramètres de texture, les valeurs de Ks mesurées. Une méthode est ainsi disponible pour évaluer Ks à partir de la caractérisation des sols au laboratoire après prélèvement à la tarière sur chantier, sans (ou avec très peu) essai in situ d'infiltration.

L'existence d'une relation hydraulique entre la surface du sol et la nappe est démontrée sur le site pilote grâce à l'effet de l'infiltration de l'eau de pluie sur la recharge de la nappe et au suivi des cycles de pompage-arrosage de la pelouse à partir du puits. La nappe ne réagit pas à une averse ponctuelle et de faible intensité, et d'autre part elle ne réagit pas non plus aux cycles d'activité des eaux usées bien visibles sur certains tensiomètres pendant la même période sèche de 4 jours. Cela justifie que la surveillance du niveau de la nappe n'est pas un moyen d'étudier le fonctionnement hydraulique du dispositif d'ANC et du sol sous-jacent. Avant le transfert à la nappe, il y a l'évacuation.

La fonction épuration du sol : analyses sur les eaux du site pilote et de colonnes de sable, et impact environnemental sur le compartiment aquatique par bilan de masse en rivière

L'étude des échantillons d'eaux collectés sur le site pilote, à des dates espacées de plusieurs semaines au cours d'une période de 6 mois, a révélé que le traitement par le filtre à sable des eaux usées brutes de FSTE ne permet pas un abattement total du carbone organique dissous (COD) : une part non négligeable (10 %) persiste en sortie de massif filtrant, et le sol élimine 40 % du reste (affinage*), ce qui signifie une efficacité identique au filtre si l'on tient compte de l'épaisseur de sol qui est moitié moindre. De plus, contrairement à la qualité de l'eau prélevée sous le massif filtrant, l'eau prélevée dans le sol apparaît très stable dans le temps, ce qui traduit la persistance et l'homogénéité des mécanismes d'épuration dans le sol. En particulier, le sol élimine totalement la turbidité de l'eau (MES). Nos résultats d'analyses sur les coliformes dans les eaux aux trois profondeurs semblent montrer que le dispositif de traitement (massif filtrant) est très efficace pour l'abattement d'E. coli mais moins efficace sur d'autres coliformes, et surtout, que la nappe sous-jacente contient de l'eau largement contaminée par E. coli et les autres coliformes, ce qui provient sans doute des rejets domestiques du voisinage amont où l'ANC n'a pas encore été réhabilité.

Sur le site pilote, le sol abat donc de manière importante la concentration en COD dans l'eau. De plus, l'aromaticité du carbone augmente au cours du traitement, depuis la fosse au sable filtrant puis au sol, selon le paramètre SUVA (figure 4). Ceci est cohérent avec la faiblesse de la biodégradation en présence des amines et des cycles, observée sur une série de composés organiques pharmaceutiques dans des colonnes de sable (Bertelkamp et al., 2014) ; en effet, une relation significative a été établie entre les groupes fonctionnels et la biodégradation et celle-ci est accrue surtout en présence des groupes éther et carbonyle. On note que dans cette expérimentation sur colonnes, bien que des tendances aient été observées en confrontant le taux de biodégradation des composés à leurs propriétés physico-chimiques telles que la charge, l'hydrophobicité ou le poids moléculaire, aucune corrélation n'a été trouvée de façon convaincante.

Les doses en méthyl-parabène et en triclosan sont significatives mais faibles dans l'eau brute du site pilote et flirtent avec les limites de quantification, une fois traitées par le filtre (figure 8) et le sol. Un enrichissement artificiel de l'eau brute avec ces molécules permettrait d'étudier leur comportement aux stades successifs du traitement en ANC, par le filtre et par le sol. D'après le bilan de masse de 13 composés organiques de familles très différentes dans la rivière Steinlach (en Allemagne) à l'aval d'une STEP, on a conclu que certains des composés sont adsorbables mais non dégradables dans la zone hyporhéique*. L'argument n'est pas ici dans une analogie entre le sol et la zone hyporhéique* qui serait d'ailleurs injustifiée : c'est la persistance de certains composés dans l'environnement qui est en cause. On s'est intéressé au triclosan qui a été choisi dans le protocole d'évaluation de l'épuration sur notre site pilote d'ANC. Le triclosan montre un comportement similaire dans deux rivières, avec une élimination surtout photodépendante, sans biodégradation, et l'absence de bio-méthylation du triclosan entre amont et aval. En outre, le cas du triclosan a révélé, lors de l'arrêt de la STEP pour maintenance, la présence de sources polluantes en amont de la STEP. On pense alors à l'existence d'une pollution diffuse de l'environnement à l'amont du bassin versant qui peut être liée aux activités domestiques dispersées et renvoie à l'impact environnemental de l'ANC. Notre choix d'étudier cette molécule et son composé méthyl se trouvent ainsi justifiés par ce changement d'échelle.

D'autres composés tels que carbamazépine (persistante) et ibuprofène (biodégradable) qui ont des comportements identifiés et contrastés, d'après la littérature et les essais sur colonnes de sable, apparaissent comme des traceurs possibles pour de futurs travaux sur l'épuration par le sol en ANC.

Les métaux ont des comportements divergents et ne sont apparemment pas des indicateurs adéquats de l'épuration par le sol. L'azote a sur le site pilote le comportement attendu d'après la littérature : les données des anions nitrate et sulfate traduisent le changement des conditions redox entre la fosse septique et la zone d'infiltration, le massif filtrant étant c'est connu, un milieu très efficace pour la nitrification.

Vu les conditions du potentiel redox et la présence des métaux, on pourrait s'attendre à une précipitation des phosphates : cela n'est pas le cas ici. Contrairement au carbone, le phosphore n'est pas éliminé dans le massif filtrant, ni dans le sol. On n'observe pas de diminution du phosphore dissous, et on voit une diminution faible du phosphore total (-13 %) qui concerne forcément la fraction particulaire retenue par filtration* des MES. C'est une surprise dans la mesure où la littérature laissait prévoir que l'on pourrait compter sur le phosphore comme un indicateur d'épuration et de rétention.

En définitive, il ne reste comme indicateurs possibles de l'épuration par le sol au moyen de l'analyse de l'eau interstitielle que les MES, le COD et le paramètre SUVA, qu'il faudrait compléter par un micropolluant organique spécifique, tel les parabènes et triclosan ou le couple carbamazépine / ibuprofène. Nitrate et phosphate serviraient d'indicateurs de pollution. Le coprostanol qui avait été évoqué n'a pas été testé et on n'a pas retenu le DBO5 qui exige un délai d'analyse très court. La

démarche s'est arrêtée là car on a dû renoncer à la campagne de prélèvement d'eau interstitielle envisagée au départ sur une série de sites d'ANC.

La fonction rétention du sol : observations et analyses sur les sols de sites d'ANC

Les sols soumis aux effluents d'ANC ont en général des teneurs en nutriments plus élevées que leurs équivalents blancs, sauf influence de l'hétérogénéité spatiale naturelle des blancs. Sur la base des analyses de six couples d'échantillons, on postule que l'analyse comparative des teneurs du sol impacté et du blanc constitue un indicateur valable d'impact pour les sols soumis à l'épandage. La teneur absolue d'un sol impacté ne serait pas en elle-même une donnée suffisante. L'ensemble des analyses physico-chimiques et biochimiques menées sur des sols variés tend à montrer une corrélation des mesures avec la profondeur : il est donc nécessaire d'identifier avec précision les horizons de prélèvement afin d'assurer que le blanc en est vraiment un.

L'enrichissement en fines* est un indicateur d'impact dans le sol. Ces fines viennent en partie des eaux usées, où il s'agit surtout de fines organiques, et en partie aussi des eaux de pluie, du ruissellement et du lessivage des horizons supérieurs du sol, fines minérales ou organiques qui traversent plus facilement le filtre à sable grossier que si le sol était resté en place. Une autre partie de ces fines peut être de la même nature que la couche de gravier qui supporte l'épandage, en général un gravier calcaire concassé, qui subit une érosion mécanique et chimique par l'infiltration des eaux prétraitées. Enfin, les travaux d'excavation ont remanié le sol en fond de fouille et ont pu mobiliser des fines préexistant dans le sol qui se sont ensuite concentrées sous le fond de fouille. La quantité de fines accumulées par rétention dans le sol sous le dispositif est faible (de l'ordre de 1 % en masse). L'augmentation très forte de la surface spécifique dans l'échantillon impacté révèle donc la nature colloïdale, argileuse, ou organique, des fines accumulées. En conséquence, la teneur en eau résiduelle est révélatrice et peut être utilisée comme un indicateur d'impact.

La détermination de la surface spécifique par la méthode d'adsorption physico-chimique qui fonctionne dans tous les cas, ainsi que par un calcul approché à partir de la courbe granulométrique laser qui est rapide à acquérir mais nécessite un sol granulaire et homogène pour être interprétable, a mis en évidence un impact très net de l'infiltration des eaux usées avec l'apparition d'une fraction fine qui n'est pas présente dans les échantillons témoins, surtout quand le sol n'est pas argileux.

La mesure de l'activité enzymatique se révèle la mesure la moins équivoque de l'impact des eaux usées sur le sol : les résultats présentent un accroissement moyen de plus de 40 % entre les échantillons impactés et leurs témoins (figure 9). La dépendance avec la profondeur existe aussi mais pour ce paramètre, les erreurs de position du blanc ont moins d'effet.

Les différences observées entre les résultats des sites de l'Yonne et ceux de Seine-et-Marne sont dues à l'âge de l'ANC, son type, et la nature des sols en dessous de l'ANC. L'exposition au polluant est moins importante dans le cas des dispositifs d'ANC de l'Yonne, qui sont récents et complets. Ainsi, l'activité enzymatique relevée dans les sols des sites de Seine-et-Marne étudiés correspond à l'impact des eaux à la sortie de la fosse septique, tandis que dans l'Yonne, l'activité est mesurée dans le sol après traitement complet par la fosse toutes eaux et le massif filtrant.

Les teneurs totales en carbone et azote viennent compléter l'activité enzymatique de l'uréase et la surface spécifique pour établir l'impact de l'ANC sur les sols. Le rapport C/N est corrélé au SUVA. En revanche, le carbone organique particulaire (COP) est moins intéressant que prévu pour révéler une pollution car les résultats varient beaucoup en fonction de la nature du sol, de son hétérogénéité et de son passé. De même pour le phosphore, ce qui est un constat décevant car la rétention du phosphore semblait un fait acquis dans la littérature sur les sols et l'ANC.

La méthode de géo-endoscopie est peu traumatisante pour le massif filtrant et pour le sol et fournit une bonne approche de la constitution du massif filtrant et de son état, et de la nature du sol encaissant. Sur le site pilote, la méthode a confirmé l'exécution correcte du massif filtrant non drainé. En revanche, sur une dizaine de sites plus anciens (quelques années d'existence), on a constaté que le DTU 64.1 n'est souvent pas respecté, ce qui implique une sollicitation du sol plus forte que recommandé, à la fois dans ses fonctions épuration (pas seulement affinage*) et évacuation. La méthode a alors été appliquée au sol encaissant pour décrire l'impact d'un défaut de conception ou d'exécution du dispositif dans son voisinage immédiat, et on a trouvé un site qui semble significatif.

Le profil de résistivité met en évidence les limites des dispositifs d'ANC mais aussi l'existence de couches à forte rétention d'eau, les fossés ou axes de drainage, la proximité de la nappe, qui sont des informations contextuelles utiles pour discuter de l'insertion de l'ouvrage dans le sol encaissant et d'une éventuelle perturbation du fonctionnement hydrodynamique du sol. Le profil de résistivité permet aussi de critiquer la représentativité des sondages effectués sur un site. En revanche, le profil de résistivité ne nous aidera pas à détecter un éventuel impact du dispositif d'ANC sur le sol encaissant. Les différences entre les sites (nappe juste sous la surface, ou profonde, ou absente), et l'hétérogénéité des sols empêchent de trouver un protocole commun adéquat pour des sites divers.

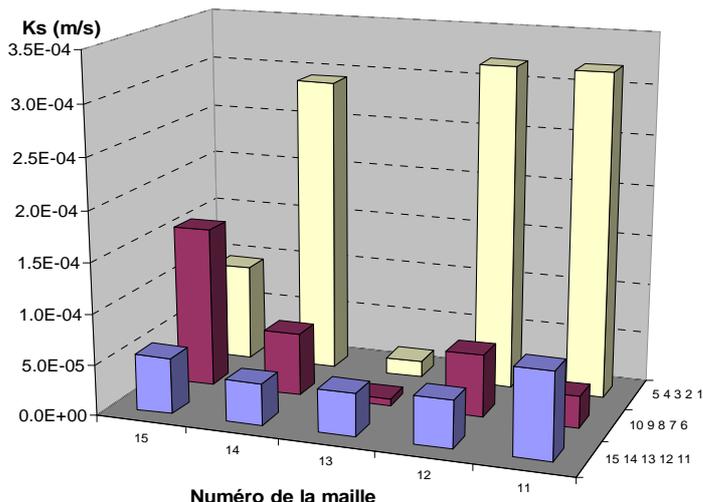


Figure 7. Valeurs de la conductivité hydraulique Ks mesurées par 15 essais de Guelph sur 15 m² à 120 cm de profondeur dans la fouille du site pilote. Thèse de B. Nasri, 2013.

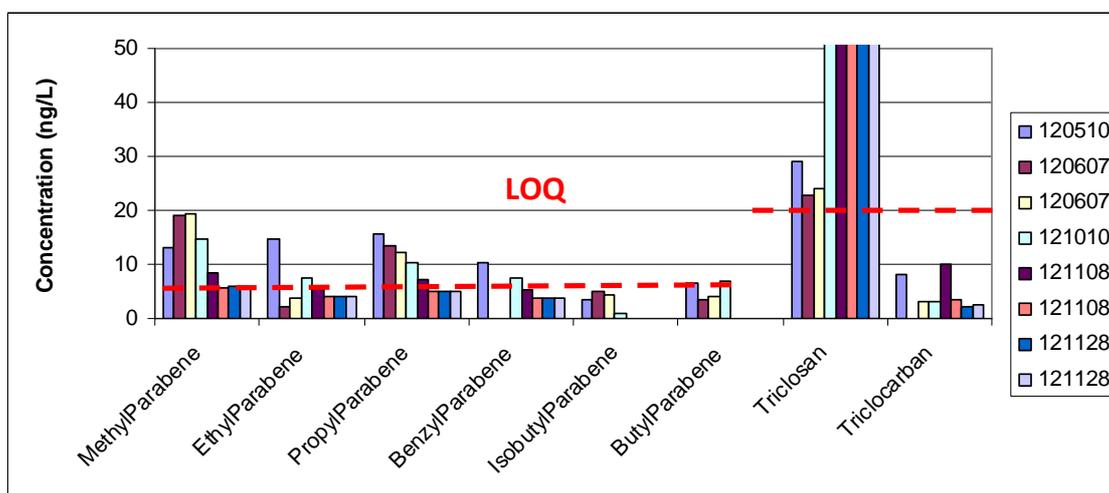


Figure 8. Teneurs des parabènes, du triclosan et triclocarban, dans les effluents du site pilote en sortie du filtre à sable, au niveau d'évacuation dans le sol sous-jacent. E. Caupos, 2013.

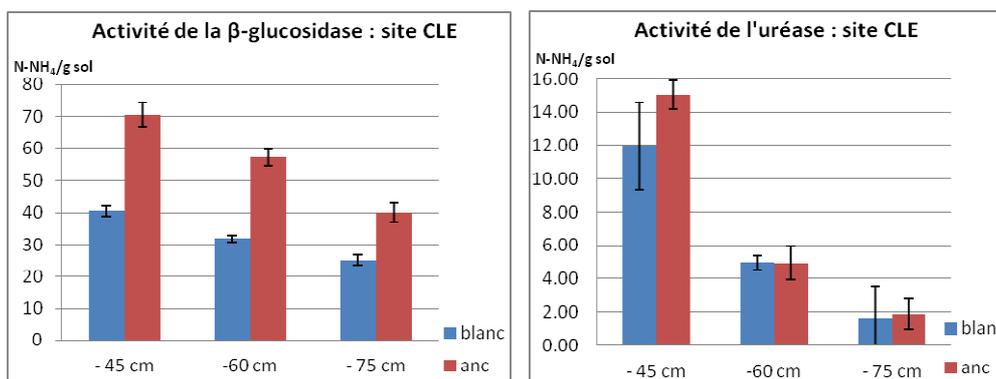


Figure 9. L'impact de l'ANC sur le sol sous-jacent : activités enzymatiques comparées entre le sol sous l'ANC et le blanc du sol à distance, sur un site dans l'Yonne. M. Hélicher, 2013.

Des indicateurs physiques pour les 3 fonctions du sol : notation de son aptitude à l'ANC

On a vu que l'impact de l'ANC sur le sol est bien caractérisé par certains indicateurs de la fonction de rétention. Mettons de côté l'étude de l'impact pour nous concentrer sur la question de l'aptitude. Le sol sera-t-il capable d'exercer ses fonctions s'il est confronté à l'ANC à l'avenir ? Cette seconde question, celle de l'aptitude du sol, se pose quel que soit l'état initial du sol. Cependant, pour

aborder cette question dans la plus grande généralité possible, il est préférable de l'étudier dans l'état initial non impacté. Il faut examiner les atouts et faiblesses des sols sous l'angle de la faisabilité et de la durabilité de l'usage du sol en ANC. Plus précisément, c'est la double-fonction du sol « évacuation et affinage* par infiltration des eaux usées traitées » qui nous concerne et qui permet, si elle est suffisante, d'envisager le sol comme un milieu récepteur potentiel des EUT. Choisir des indicateurs pour cette double fonction est l'objectif que l'on s'est fixé. Parmi une batterie de paramètres et de protocoles, on en sélectionne certains comme indicateurs pour l'ANC, des propriétés qui jouent un rôle déterminant dans les fonctions du sol par rapport à l'infiltration des EUT. Cette sélection se veut généralisable au-delà du territoire d'étude. Ainsi, on propose : la teneur en eau résiduelle (par étuvage), la texture des particules fines (par densimétrie : Argile, < 2 microns ; Limon, 2-50 microns ; Sable, > 50 microns ; figure 10), la teneur en carbonate de calcium (par calcimétrie), la teneur en matière organique (par calcination), les limites de consistance (essai d'Atterberg), la surface spécifique du sol (par adsorption du bleu de méthylène, méthode de la tâche), et la conductivité hydraulique du sol (par l'appareil Guelph). Ils sont au nombre de 7, mais recèlent en fait une douzaine de paramètres.

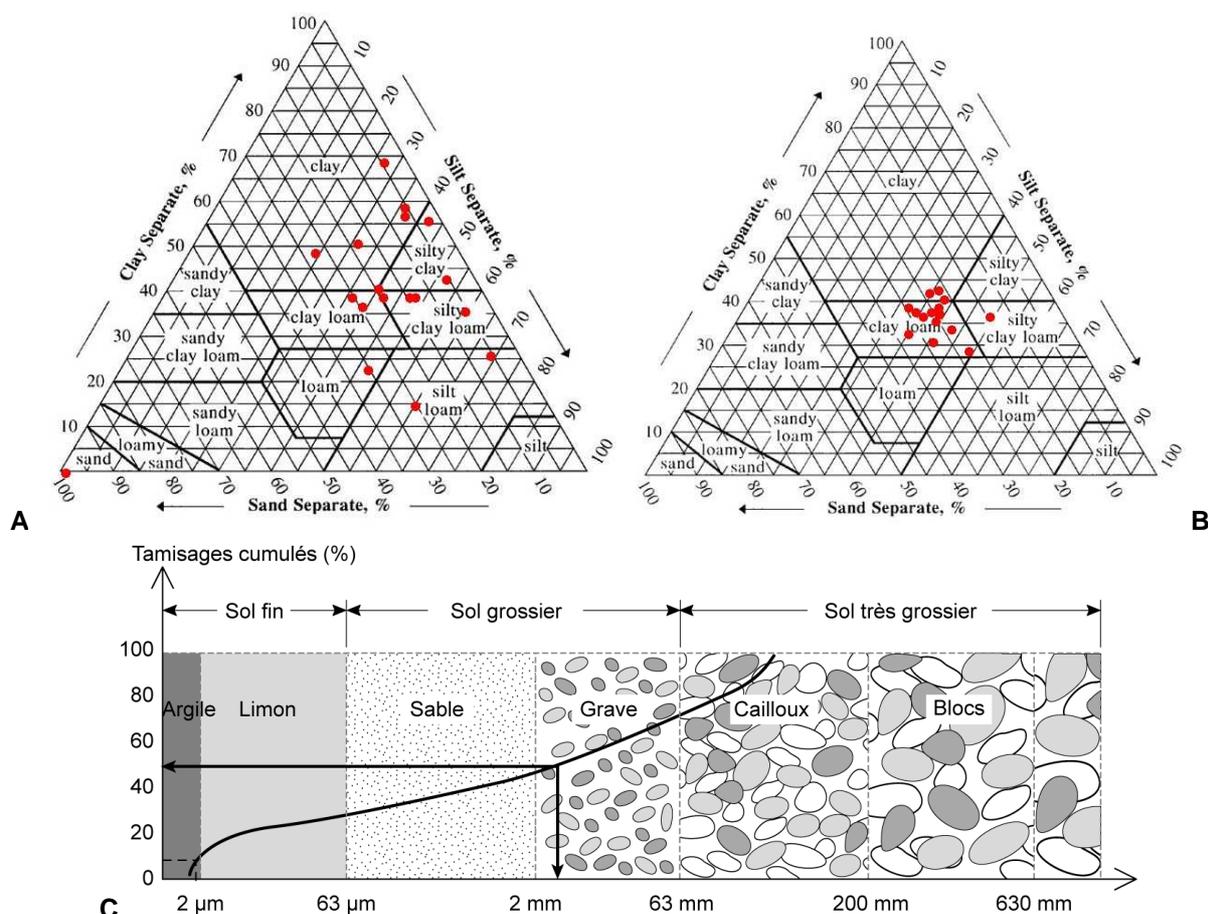


Figure 10. Indicateurs physiques des fonctions des sols en ANC : proportions d'argile (< 2 μm), de limon (2 à 50 μm) et de sable (> 50 μm). A : pour 18 échantillons des divers sols du territoire d'étude (Yonne) ; B : pour les 15 échantillons du site pilote. C. Une autre définition des grandes classes granulométriques, avec une limite limon – sable à 63 microns au lieu de 50 microns. Thèse de B. Nasri, 2013.

Il existe parfois une corrélation entre deux paramètres choisis comme indicateurs : cela ne signifie pas qu'ils soient équivalents au sens physique et surtout, les bases de données peuvent contenir l'un ou l'autre et il faut donc garder les deux comme indicateurs... par exemple, c'est le cas entre la valeur au bleu de méthylène et la capacité d'échange cationique. Entre plusieurs paramètres concernant l'argilosité par exemple, un système complexe de relations admet une redondance partielle mais ces indicateurs restent complémentaires pour caractériser la double fonction étudiée. Par ailleurs, valider une corrélation soupçonnée entre un indicateur physique et un autre paramètre difficile à mesurer tel que la teneur R_w en cailloux (figure 11) serait un résultat majeur, vue l'importance de R_w dans l'estimation de la conductivité hydraulique par les FPT.

Le travail sur la texture du sol ne sert pas seulement une meilleure compréhension hydraulique du système : la revue de la littérature montre que la texture contrôle la synergie entre le comportement biologique, chimique et physique. Les indicateurs de texture sont donc pertinents pour les 3 fonctions du sol.

Un débouché immédiat de ce travail a été ouvert par un système de notation du sol fondé sur ces indicateurs : si la note d'un sol est suffisante, elle permet d'envisager ce sol comme un milieu récepteur potentiel des eaux traitées. Le but est de noter les quatre services du sol pouvant être utilisés en filière d'ANC, à savoir :

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

On établit dans un premier temps une note pour chaque indicateur (quand un indicateur intervient dans plusieurs services, la note pourra varier suivant le service examiné). Dans un deuxième temps est proposé un système de notation globale. Enfin, la troisième étape est une classification de l'aptitude du sol, propre à chaque service : 6 classes par service sauf pour l'aptitude à l'évacuation profonde qui ne compte que 3 classes.

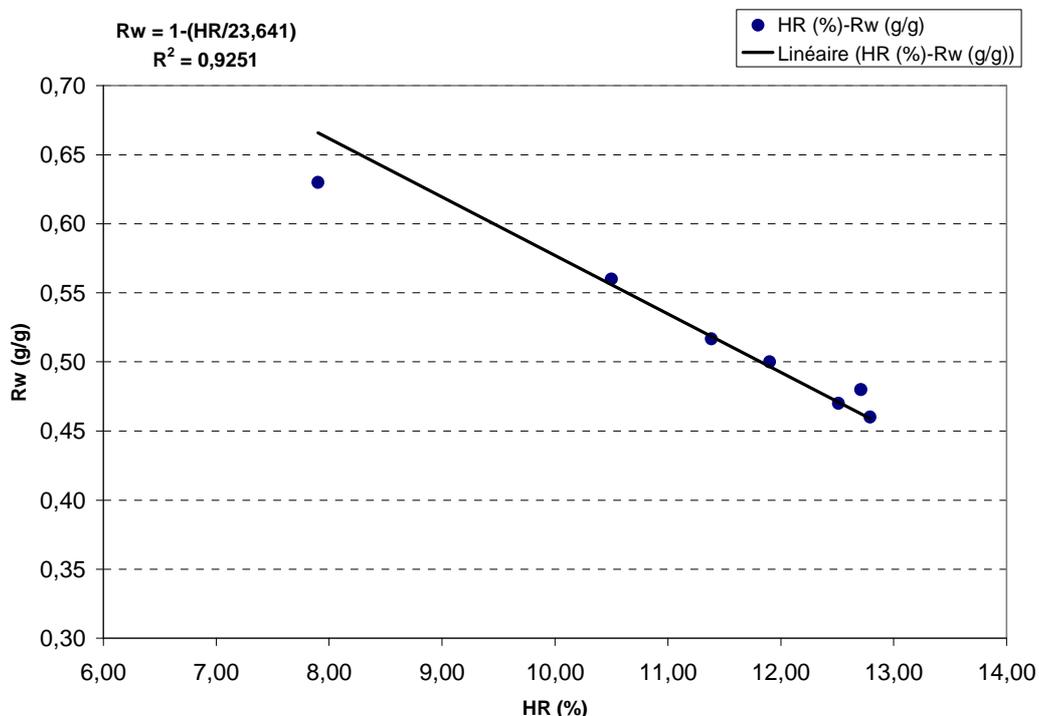


Figure 11. Corrélation entre un indicateur physique (HR, humidité ou teneur en eau résiduelle) et un paramètre important pour les fonctions des sols en ANC mais difficile à mesurer (Rw, teneur en cailloux) : mesure au laboratoire, limitée à 7 échantillons du site pilote. Thèse de B. Nasri, 2013.

La sélection des indicateurs est une chose, mais d'autres paramètres interviennent dans la faisabilité de l'ANC qui, sans avoir toutes les qualités d'un indicateur, sont pourtant indispensables dans le système de notation et la classification d'aptitude. On inclut dans cette catégorie la hauteur capillaire maximale et la sensibilité au tassement qui se déduisent de la classe texturale, elle-même (champs de la figure 10) déduite des indicateurs de texture des fines, et les classes descriptives du profil vertical de sol (l'épaisseur de la zone non saturée et les profondeurs limites d'hydromorphie) qui exigent une description sur le terrain et une certaine compétence en pédologie.

Ces classifications pour les 4 services rendus par le sol ont été testées avec succès sur 3 sites d'ANC à Chartrettes, Seine-et-Marne, et sur 5 types de sols dans l'Yonne.

On devrait aussi tenir compte de la perméabilité « en grand » KHA interprétée d'après la lithologie (carte BRGM) qui contrôle le transfert dans la nappe après l'évacuation par infiltration. C'est

d'ailleurs le plus accessible des paramètres pouvant aider à territorialiser la faisabilité de l'ANC. Le BRGM fournit aussi une carte de vulnérabilité à la remontée de nappe.

Le fait que la note d'un sol conduise à le classer apte à un des services à rendre (épuration, évacuation superficielle, évacuation profonde et affinage*) ne doit pas faire oublier les contraintes du site telles que la pente du terrain et les distances d'exclusion (figure 1). Dans un système d'information géographique, ces contraintes sont les premières à prendre en compte pour ne pas se poser des questions complexes si les prérequis ne sont pas réunis. Un questionnaire composé de 26 questions factuelles est soumis en ligne à l'utilisateur, seul à même de fournir certaines informations.

L'expérimentation peut-elle servir à intégrer des indicateurs physiques, chimiques et biologiques pour les 3 fonctions du sol ? Distinguer l'impact de l'ANC et l'aptitude à l'ANC.

On a identifié des indicateurs d'impact de l'ANC sur les sols. Pour que ces indicateurs d'impact puissent intervenir dans la question de la faisabilité, il faudrait pouvoir les corrélés à une typologie des sols. Par exemple, tel type de sol qui paraît apte à l'ANC a une grande sensibilité au colmatage (rétention de fines, accumulation du carbone, forte activité enzymatique) : du coup, on sera conduit à abaisser sa note de durabilité. Mais pour réussir dans une telle démarche, il faudrait comparer une diversité de sols selon ces critères à sollicitation égale (même nature et même taux des eaux infiltrées)... ce qui paraît impossible au vu de la variabilité des situations réelles en ANC. Seule une expérimentation en conditions contrôlées sur bancs d'essai permettrait cela, à l'image de ce qui a pu être fait pour caractériser les sables de filtration*. Mais on rencontrerait l'obstacle du remaniement des sols.

L'expérimentation sur le site pilote a servi à mettre en évidence le rôle des paramètres de texture, surtout de son hétérogénéité (présence de cailloux), et ses conséquences en termes d'écoulement préférentiel qui est favorable à l'évacuation mais défavorable à l'affinage*. Elle a donc contribué à l'avancement des indicateurs de faisabilité de l'ANC dans les sols hétérogènes, c'est-à-dire dans le cas général. Quant à la qualité de l'eau, c'est un indicateur d'efficacité du traitement et d'impact environnemental, mais cela ne donne pas d'indicateurs de faisabilité, cela ne la conditionne pas. De plus, le projet a dû renoncer à la campagne d'analyses des eaux interstitielles sur une diversité de sites et de sols et en parallèle, la mission d'Irstea sur l'analyse des rejets superficiels ne semble pas avoir été couronnée de succès. En conséquence, on n'a pas pu vérifier les indicateurs d'épuration proposés : ni le comportement du phosphore, ni l'aromaticité du carbone, ni la persistance de micropolluants organiques d'origine domestique.

Néanmoins, en l'absence d'indicateurs d'épuration avérée c'est-à-dire d'efficacité, il nous reste des indicateurs du « potentiel épurateur des sols » (qui est bien l'objectif annoncé dans le titre) que l'on trouve dans la texture (dont certains sont chimiques) et dans le profil réel de sol sur chaque site. Rappelons que la fonction d'épuration dont il est question ici est étudiée dans le service d'affinage* des eaux usées déjà traitées, et non de traitement des eaux brutes.

Prototype de SIG et intégration d'indicateurs physiques et socio-techniques

La gestion de l'ANC relève des services publics créés par les communes (SPANC). Les choix, faits au cas par cas pour chaque parcelle privée, sont contraints en premier lieu par des textes réglementaires et par la nature des sols : la gestion devrait donc être territorialisée selon des limites administratives et foncières mais aussi pédo-géologiques. Ajoutons que l'aptitude des usagers au pilotage des fonctions du sol est aussi à prendre en compte, via des questions indicateurs.

La première étape du développement du SIG a été de croiser des couches de données physiographiques afin de proposer une cartographie d'un type de sol non pris en compte sur la carte du BRGM ni sur la carte pédologique régionale. Ce type de sol est une colluvion localisée sur les versants des thalwegs creusés à travers le plateau portlandien, recouvrant son contact avec les marnes du Kimméridgien. Ce contexte géologique est schématisé sur la figure 12.

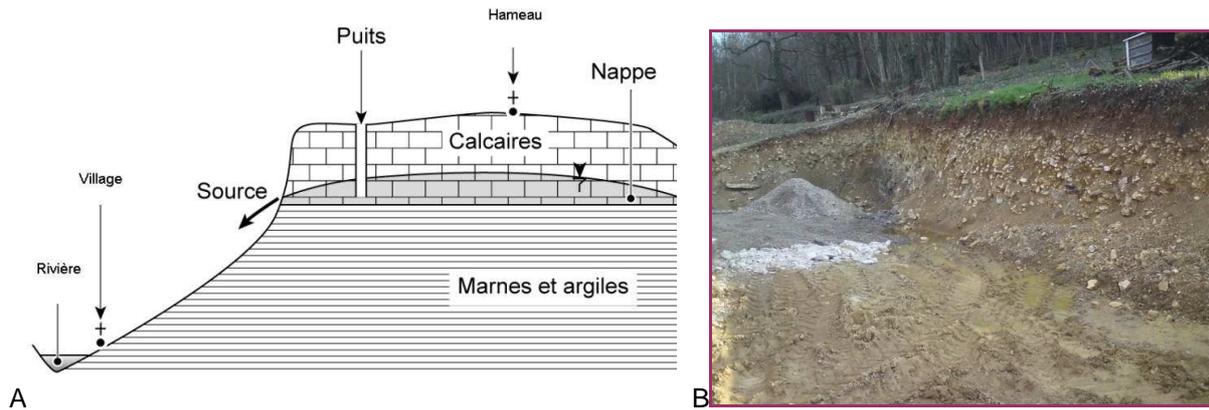


Figure 12. Schéma (A) du contexte géologique du site pilote et des colluvions (B) : habitat dispersé entre le village (Ouanne dans ce cas) et l'émergence au contact du calcaire portlandien sur les marnes du Kimméridgien. O. Fouché : Théorie et pratique de la géotechnique, Le Moniteur, 2013.

Une carte (figure 13) intégrant plusieurs critères permet de localiser la probabilité d'existence des colluvions sur le bassin versant de l'Ouanne et du ru de Baulche. Des coupes sont tracées en violet. Les aires susceptibles d'être occupées par ces colluvions de J9 correspondent aux pentes supérieures à 8°. Ces valeurs de pente sont des moyennes par cellule de 25 m x 25 m.

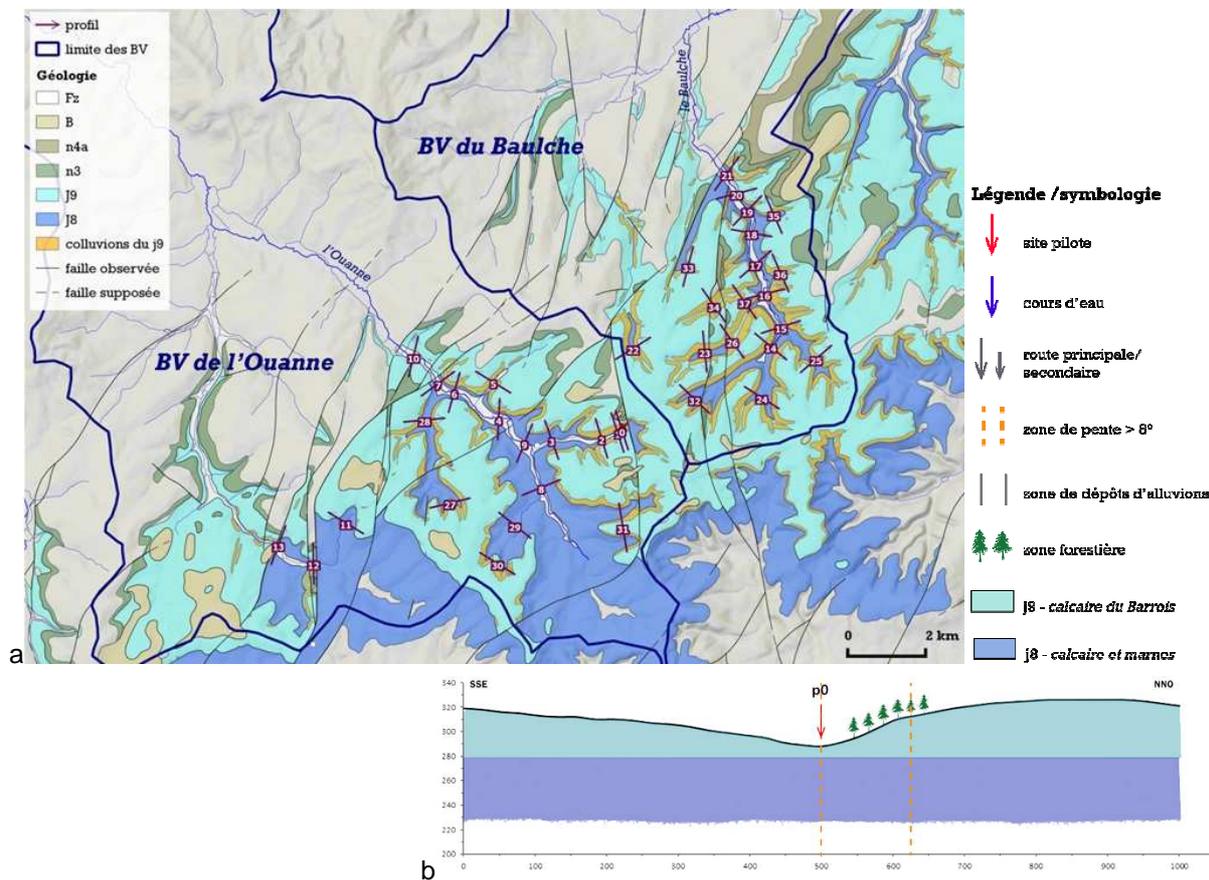


Figure 13. Cartographie potentielle d'une formation superficielle inconnue sur la carte du BRGM : les colluvions anciennes des thalwegs creusés dans le plateau calcaire portlandien (J9), sollicitées en ANC par un habitat dispersé. Légende de la figure 13b. Profil en coupe transversale de la carte des critères au site pilote, situé sur la figure 13a. N. Guerguadj, 2013.

L'objectif est ensuite de construire un SIG pour assister la gestion de l'ANC en s'appuyant sur une diversité d'indicateurs identifiés au cours du projet et dont la liste sera validée par une conférence de consensus avec les acteurs locaux dans l'Yonne en juin 2014. Ces indicateurs traduisent le haut degré d'interdisciplinarité de la problématique : nature, texture et physico-chimie des sols, éléments fonciers et techniques des parcelles, aspects socio-politiques concernant les usagers et gestionnaires de l'ANC. Citons quelques paramètres et indicateurs : pente et superficie de la parcelle, présence d'un

exutoire superficiel, perméabilité du sol en surface et à 1 m de profondeur, profondeur minimale de la nappe phréatique ; argilosité et granulométrie du sol, teneur en carbonate, capacité d'adsorption totale, activités enzymatiques, C, N et P total dans le sol ; des questions aux usagers qui entrent dans une typologie de 5 niveaux.

Le but du SIG est de réunir, pour une localisation donnée, des informations de plusieurs origines et d'en tirer un diagnostic de faisabilité de l'ANC en laissant une part d'interprétation à l'utilisateur. On s'est donc orienté vers une architecture de type webmapping. On sera ainsi amené à coupler des données existantes au départ, aux propriétés (résolution, incertitude, couverture...) aussi différentes que le raster de géologie, le cadastre, ou les schémas directeurs, qui existent sur l'ensemble du territoire national, avec des données-indicateurs à acquérir au cours du temps (échantillonnage par prélèvements et enquêtes) en phase d'exploitation de l'outil, sur des territoires sub-départementaux. On étudiera la faisabilité d'intégrer en un indice unique un ensemble parmi ces indicateurs afin de simplifier le travail de l'utilisateur.

L'outil pourra servir pour des opérations de gestion telles que :

Pour orienter une campagne de travaux d'installation ou de réhabilitation d'ANC, financée par l'Agence de l'Eau, on a besoin de cartographier dans un territoire les surfaces où un ensemble de facteurs favorables sont réunis.

Pour évaluer l'impact de l'ANC sur un petit cours d'eau, faire une carte et un inventaire des installations d'ANC présentes sur son bassin versant.

Pour assister un particulier, on souhaite extraire les informations au moyen d'une interrogation par parcelle cadastrale.

On illustrera le fonctionnement de l'outil sur un territoire où des indicateurs seront mesurés : celui d'un syndicat des eaux (une centaine de communes, échelle sub-départementale) dans l'Yonne.

Conclusion de la synthèse

En conclusion, on ne reprendra pas les résultats déjà exposés de façon sélective dans cette synthèse mais on présentera l'articulation entre les méthodologies employées qui est schématisée par la figure 14. La problématique de l'ANC est complexe et pour s'y engager, il fallait à la fois la maîtrise de l'ingénierie et une très bonne connaissance de la réglementation, de son origine et de sa justification. Le partenariat scientifique (figure 16 A) a eu pour objectif de réunir ces qualités. De plus, s'agissant non seulement d'acquérir des éléments scientifiques par la recherche mais aussi de les introduire parmi les praticiens et les acteurs, un questionnement était nécessaire sur le rôle du scientifique, sur la nature exacte parmi les outils scientifiques, de ceux qui recèlent une capacité intrinsèque à lier les acteurs autour d'un objet commun de gestion, et sur les moyens d'appropriation de ces outils par les acteurs. C'est à travers la participation à des organes participatifs en gestion de l'eau (SAGE) que certains membres du projet se sont confrontés à cette difficulté. Ainsi la réalisation du bilan hydrologique d'un territoire et sa cartographie géo-pédologique sont-ils apparus comme des outils au fort potentiel intégrateur au sein d'une communauté d'acteurs.

Le projet est fondé sur une distinction des fonctions des sols en ANC – épuration, rétention, évacuation, filtration et affinage – et de leurs impacts (figure 14A). Il est fondé également sur la distinction entre deux problématiques : l'aptitude à l'ANC (faisabilité) et l'impact de l'ANC (antithétique de durabilité). Des points de vue divergents entre les acteurs sur ces fonctions des sols et sur l'impact environnemental, ont été mis en évidence par l'activité des SPANC depuis 2006 ; on a tenté de les caractériser au cours du projet.

La faisabilité de l'ANC dépend en premier lieu des contraintes réglementaires sur les caractéristiques de la parcelle – l'encombrement et la pente du terrain, le drainage souterrain, la présence de puits – qui sont en général prises en compte lors d'un projet d'ANC, par un bureau d'étude ou un installateur, ou par l'utilisateur lui-même en cas d'auto-construction. Cette généralité, satisfaisante à première vue, n'empêche pas une diversité et une abondance de dysfonctionnements des dispositifs in situ en raison du caractère erroné ou simplement imparfait de cette prise en compte, mais plus encore à cause de l'absence de prise en compte des influences autres que la parcelle. A côté de cette aptitude de la parcelle à recevoir l'ANC, le projet ANCRES a développé une méthodologie pour prendre en compte l'aptitude du sol, qui est présente de façon très insuffisante dans les recommandations actuelles de l'état de l'art, et a introduit la notion d'aptitude de l'utilisateur à gérer l'ANC à son domicile. La problématique de l'aptitude SPU (sol – parcelle – usager) est un sous-projet en soi et est contenu dans un seul pavé du schéma (figure 14 B) et elle a été développée dans un autre organigramme (figure 15).

Pour chacune de ces deux aptitudes, une série d'indicateurs est proposée et un système de notation a été élaboré, qui débouche sur deux classifications d'aptitude indépendantes. La

classification d'aptitude du sol a été conçue de façon à intégrer les indicateurs d'aptitude de la parcelle. La classification d'aptitude de l'usager est fondée sur une typologie de questions qui peuvent être soumises à tout usager – connaissance, opinion, perception, comportement– chaque type recevant sa propre note, et sur une typologie du comportement de l'usager dans ses relations avec la réglementation, typologie définie en termes de fidélité et de fuite, d'après les entretiens semi-directifs. L'intégration entre la classification d'aptitude orientée usager et celle orientée sol pourra être effectuée à travers un SIG accessible à tous dans une démarche participative, dont le prototype a été créé. Cette intégration pourra également se faire au moyen d'un croisement des notes, méthode à laquelle on pense immédiatement mais dont les règles ne sont pas évidentes à fixer : elles doivent être discutées au cours du séminaire du projet qui réunira les divers acteurs.

Les fonctions du sol dépendent des caractéristiques du sol mais aussi de l'eau et on a choisi au départ de simplifier le problème à la source en travaillant sur le devenir des eaux usées déjà traitées, en général par un dispositif dédié au traitement, ce qui réduit de façon considérable la sollicitation du sol dans sa fonction épuration et le réserve à un rôle d'épuration complémentaire (affinage). Sous cette restriction, il devenait légitime du point de vue hydraulique de travailler sur le sol au moyen d'essais d'infiltration à l'eau claire. On a pourtant été plus loin en installant un site pilote expérimental et en vérifiant sur des eaux usées traitées in situ, certaines hypothèses sur le rôle d'affinage du sol.

La qualité de l'eau sur le site pilote nous renseigne sur l'efficacité du traitement par le filtre à sable et l'affinage par le sol, et en même temps elle est la source de tout impact environnemental. Efficacité des fonctions et intensité de l'impact sont en interaction complexe. La fonction de rétention qui participe à la filtration, elle est mise à contribution à l'égal de l'épuration dans le principe même des dispositifs filtrants, a été étudiée pour son rôle aux temps longs dans l'impact de l'ANC sur les sols. Ceci est fait par comparaison des échantillons de sols ayant subi l'infiltration d'eaux issues d'ANC avec des blancs des mêmes sols. Par ces deux méthodologies, d'une part l'analyse de l'eau traitée et affinée sur un seul site, d'autre part l'analyse de sols ayant joué un rôle de rétention et de leurs blancs, on a obtenu quelques résultats probants sur l'impact environnemental. Des indicateurs d'impact sont proposés, dont certains qui relèvent de la nature, de la texture et de la structure du sol, caractérisent aussi le potentiel du sol à continuer à exercer ses fonctions, ou à commencer à les exercer, ce qui renvoie à la notion d'aptitude du sol à l'ANC.

Entre certains des indicateurs physiques et chimiques proposés pour noter l'aptitude du sol à l'ANC, utiles également pour caractériser l'impact, des relations quantitatives ont été étudiées au moyen de fonctions de pédotransfert. De plus, la classification géométrique des discontinuités du sol a fait l'objet d'un algorithme qui fournit une paramétrisation de l'anisotropie de structure du sol. Cette approche relevant de la modélisation pédologique a été complétée par le suivi hydraulique du site pilote et a mis en évidence l'influence considérable de l'écoulement préférentiel sur un site d'ANC, qui déjoue des prévisions ou certains présupposés. Ainsi les indicateurs, définis pour caractériser le sol dans le cas général, c'est-à-dire un sol non homogène, sont-ils reliés entre eux de façon conceptuelle et quantitative par une compréhension physique et statistique de leur influence sur les fonctions des sols ou de leur rôle dans l'aptitude du sol aux services demandés et dans l'impact sur le sol.

Outre ces méthodes scientifiques de modélisation, il résulte du projet : des préconisations pour le prélèvement de sol en vue d'estimer l'impact environnemental, des propositions de protocoles pour la cartographie du sol, l'auscultation hydraulique du sol, le diagnostic d'aptitude du sol, l'amélioration du sol destiné à recevoir les eaux usées traitées en ANC, ainsi que pour la formation des techniciens du SPANC et l'information des usagers, l'évaluation de l'acceptabilité de la politique publique de l'ANC par les usagers, et la planification par zonage de la réhabilitation du parc des installations sur un territoire. Ces produits sont listés dans les tableaux qui suivent.

L'acceptabilité de la politique publique dépend de la perception du problème par l'usager. L'efficacité de cette politique dépend de la conviction de l'usager à lui donner suite : entretien de son installation, échanges réguliers avec le SPANC, demain peut-être suivi des rejets... La compréhension du point de vue et de la perception de l'usager est donc nécessaire pour la mise en œuvre des missions des SPANC. La mise en évidence de lacunes dans l'information ou de points de désaccord avec l'usager est une aide pour définir la communication du SPANC destinée à l'usager, notamment sur la question de l'impact environnemental, nœud gordien de la politique publique en assainissement. Dans ce cadre, le projet ANCRES devrait pouvoir prochainement valoriser le travail d'enquête et d'entretien sous forme d'un indicateur socio-technique qui, combiné avec un indicateur d'aptitude physique du sol déjà prêt, conditionnera la territorialisation de la gestion de l'ANC. On compte beaucoup, pour atteindre cet objectif, sur les discussions et les arbitrages qui seront faits lors du séminaire ANCRES du 13-15 juin 2014.

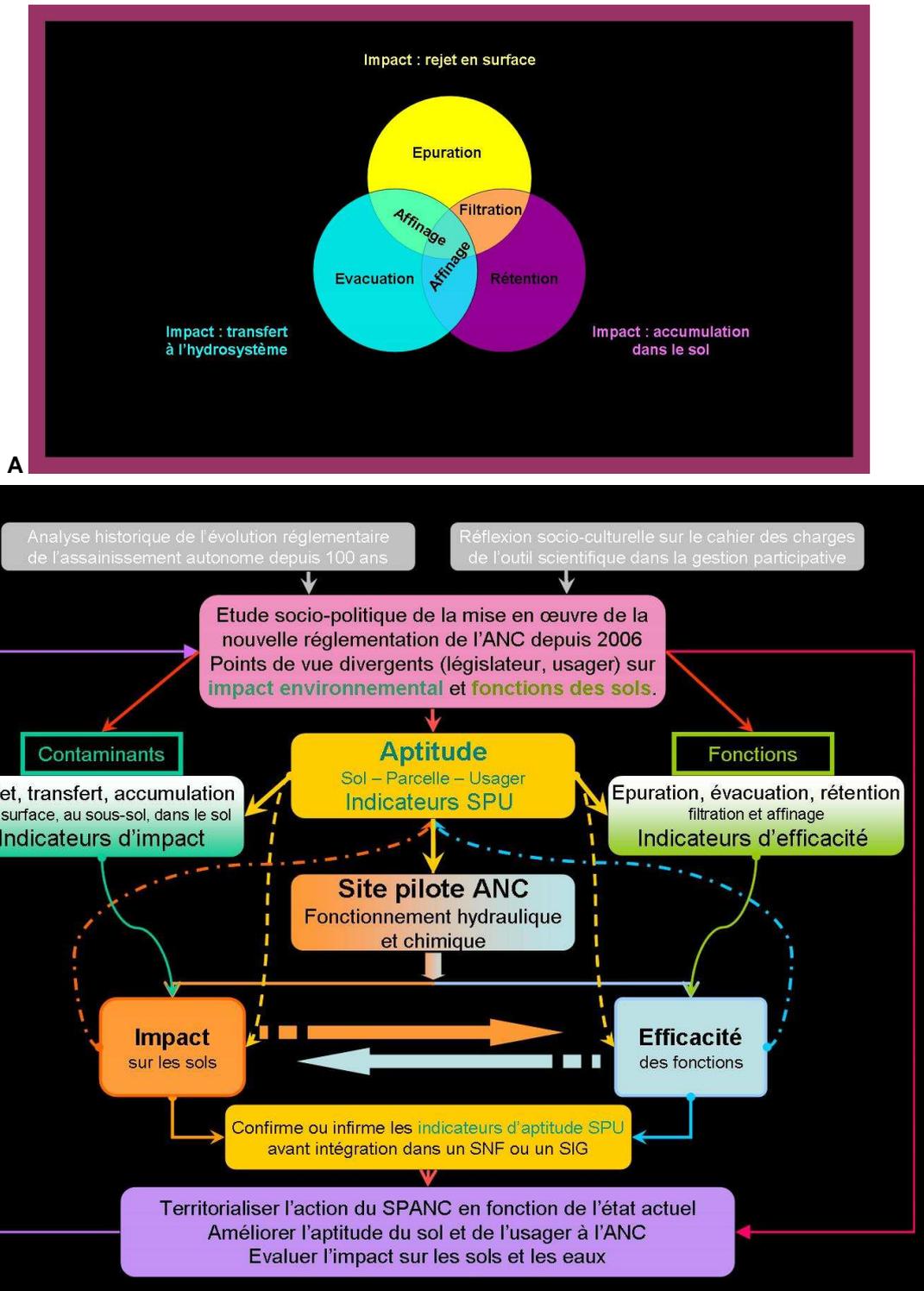


Figure 14. **A.** Les 3 fonctions des sols (action sur l'eau infiltrée) et les 3 types d'impact (contaminants) associés aux cas où une seule fonction domine. **B.** Schéma méthodologique du projet ANGRES fondé sur : 1. la dissymétrie entre le point de vue du sol (impact) et celui de l'eau (efficacité) dans l'intérêt porté aux fonctions du sol et aux contaminants ; 2. au cœur du projet, le site pilote d'ANC qui met en interaction le sol et l'eau ; 3. l'intégration (SNF ou SIG) des indicateurs physiques, chimiques, et socio-techniques ; 4. l'ensemble est encadré (initié et valorisé) par l'approche socio-politique qui devrait évoluer sous l'effet des résultats du projet. SNF = système de notation des fonctionnalités. SIG = système d'information géographique.

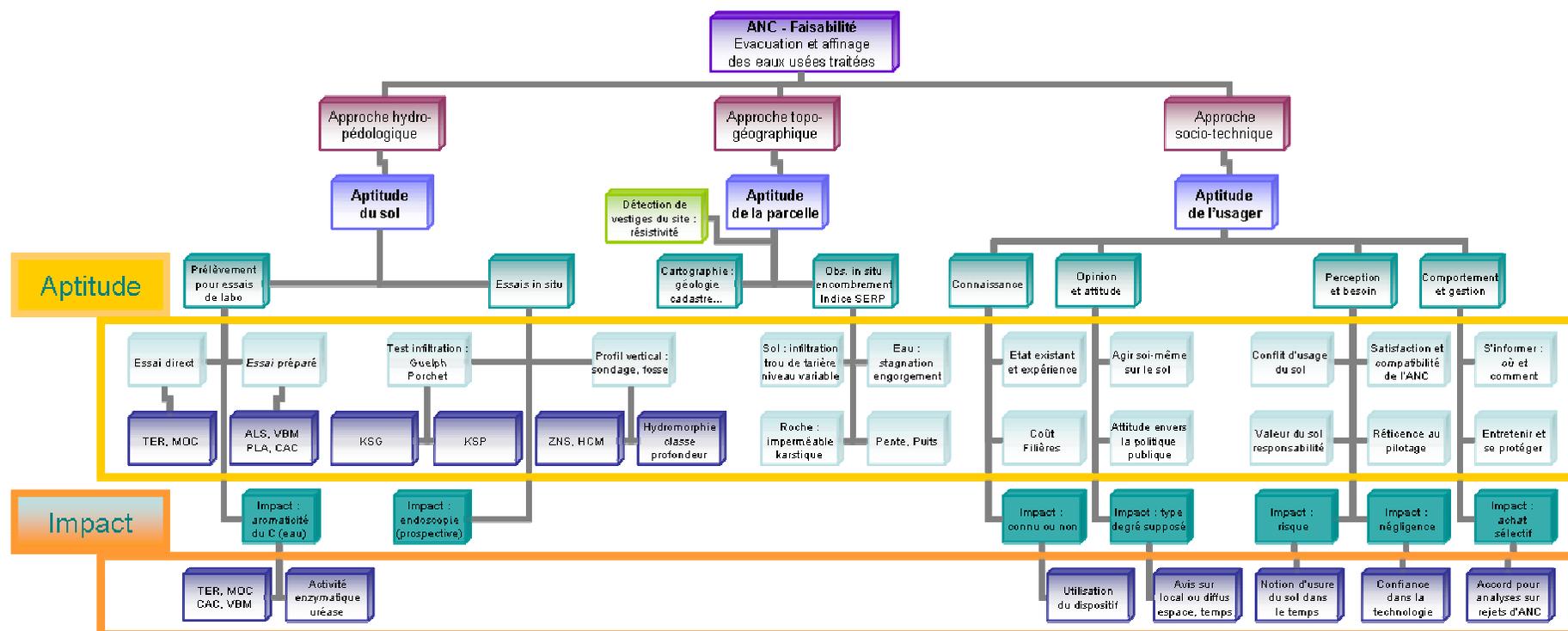


Figure 15. Organigramme des indicateurs d'aptitude SPU (sol – parcelle – usager) et des indicateurs d'impact de l'ANC.

Glossaire

Affinage

L'affinage désigne l'épuration complémentaire et la rétention complémentaire qui se produisent dans le sol d'une zone d'épandage lors de l'infiltration des rejets (eaux traitées) d'une station d'épuration, ou par analogie en ANC, lors de l'infiltration des eaux déjà passées par le prétraitement (en fosse septique toutes eaux) et par le traitement (par un filtre à sable ou un autre système de filtration). Cet affinage accompagne l'évacuation des eaux traitées, qui s'effectue en profondeur ou juste sous la surface, selon la filière installée sur la parcelle.

Filtration

La filtration désigne le phénomène passif de diminution de la turbidité et d'épuration naturelle qui se produit quand l'eau s'infiltré dans un lit de sable ou de sédiment avant de rejoindre la nappe. La filtration est aussi un procédé de séparation permettant de séparer les constituants d'un mélange qui possède une phase liquide et une phase solide au travers d'un milieu poreux. L'utilisation d'un filtre permet de retenir les particules du mélange hétérogène qui sont plus grosses que les trous du filtre (porosité). Le liquide ayant subi la filtration est nommé filtrat ou perméat, tandis que la fraction retenue par le filtre est nommé résidu, rétentat ou gâteau.

Fines

On appelle « fines », dans la courbe granulométrique, l'ensemble des particules de taille inférieure à 80 microns, en général de nature minérale mais comprenant aussi les molécules organiques adsorbées aux particules ainsi que les particules organiques. Plusieurs indicateurs sont mesurés sur les fines d'un échantillon de sol et non sur l'échantillon total.

Graves

Parmi les granulats, les graves sont des matériaux obtenus en une seule fraction, sans mélange, sans ajout d'eau, tels que sortis du crible de la carrière. En France, on les qualifie de « graves naturelles ». On appelle « graves », dans la courbe granulométrique d'un sol, la fraction de taille allant de 2 mm à 63 mm qui précède celle des « cailloux » (63 mm à 200 m), ce mot étant toutefois utilisé souvent pour recouvrir les deux fractions. Lire à ce sujet Tetegan et al. (2011).

Hyporhéique

La zone hyporhéique est l'ensemble des sédiments saturés en eau, situés au-dessous et à côté d'un cours d'eau, où il y a mélange des eaux souterraines profondes et des eaux de surface. Différentes configurations se succèdent le long d'une même rivière : les têtes de bassin présentent une zone hyporhéique réduite ou absente, contrairement à la plaine alluviale. La zone hyporhéique joue un rôle important dans l'auto-épuration du cours d'eau.

Références externes citées

Bertelkamp C., Reungoat J., Cornelissen E.R., Singhal N., Reynisson J., Cabo A.J., van der Hoek J.P., Verliefde A.R.D. (2014). Sorption and biodegradation of organic micropollutants during river bank filtration: A laboratory column study. *Water Research* 52 : 231-241.

Tetegan M., Nicoullaud B., Baize D., Bouthier A., Cousin I. (2011). The contribution of rock fragments to the available water content of stony soils: Proposition of new pedotransfer functions. *Geoderma*. v. 165. pp. 40-49.

Abréviations employées

ANC = assainissement non collectif

ANCRES = assainissement non collectif – rétention et épuration par les sols

BSE = Baromètre Santé-Environnement

COD = carbone organique dissous ; pour une eau de surface, le COT (CO total) est en général composé à 90 % de COD (CO dissous) et à 10 % de COP (CO particulaire). Le COD représente les matières organiques restantes après filtration sur des membranes de 0,45 microns. Il existe une corrélation entre le COD et l'absorbance UV.

DBO5 = la demande biochimique en oxygène (DBO5) est la quantité d'oxygène nécessaire à l'oxydation des matières organiques biodégradables par des bactéries aérobies. Elle permet d'évaluer

la fraction biodégradable de la charge polluante carbonée des eaux usées. Elle est en général calculée au bout de 5 jours à 20°C et dans le noir par différé rentiel avec le taux d'O₂ initial lors du prélèvement.

DTU = un document technique unifié (DTU) est un document applicable aux marchés de travaux de bâtiment en France. Il est établi par la « Commission Générale de Normalisation du Bâtiment / DTU » dont le Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) assure le secrétariat.

EHESP = Ecole des hautes études en santé publique

EUT = eaux usées traitées

FPT = fonctions de pédo-transfert (pour estimer la conductivité hydraulique : Ks-FPT ; pour estimer la densité apparente du sol : Bd-FPT)

FSTE = fosse septique « toutes eaux »

HR (ou TER) = humidité (ou teneur en eau) résiduelle

INSEE = Institut national de la statistique et des études économiques

LC-MS-MS = spectrométrie de masse en tandem après UPLC.

LOQ (Lower Limit of Quantification) = La LOQ est définie comme 10 * écart-type du blanc. Elle est une des façons de représenter la limite de détection (LOD) d'une méthode qui est la plus basse concentration pour un composé, analysé dans une matrice réelle, qui lorsque traité à travers toutes les étapes d'une méthode complète incluant les extractions chimiques et le prétraitement, produit un signal détectable avec une fiabilité définie, statistiquement différent de celui produit par un « blanc » dans les mêmes conditions.

MEB = microscope électronique à balayage

MES = la notion de matière en suspension (MES) désigne l'ensemble des matières solides insolubles visibles à l'œil nu, présentes dans un liquide. Plus une eau en contient, plus elle est dite turbide. On différencie les matières en suspension des colloïdes (taille comprise entre 10 nm et 1 µm). Les MES constituent une phase capable d'adsorber des polluants qui peuvent s'y transformer et être transportés par le courant, ou qui peuvent passer dans le réseau trophique et l'alimentation.

PBs = Parabènes (MeP, EtP, PrP, BzP, IsoBuP, BuP) : Méthyl-parabène, Ethyl-parabène, Propyl-parabène, Benzyl-parabène, Isobutyl-parabène, Butyl-parabène.

Rw = teneur en cailloux dans un sol

SAGE = Schéma d'aménagement et de gestion des eaux

SIG = système d'information géographique

SPANC = service public de l'ANC

SPE (Solid Phase Extraction) = extraction sur phase solide

STEP = station d'épuration

SUVA (Specific UV Absorbance) = absorbance UV spécifique (ou % d'aromaticité) de la matière organique dissoute

TCC = Triclocarban

TCS = Triclosan

UPLC (Ultra Performance Liquid Chromatography) = chromatographie en phase liquide à haute pression.

Implications pratiques, recommandations, réalisations, valorisation

- Implications pratiques

Des protocoles originaux sont proposés pour acquérir les indicateurs choisis pour les trois grandes fonctions du sol. Citons trois exemples :

- Pour l'épuration, un jeu de paramètres chimiques est identifié, à doser dans l'eau traitée à différents stades (eau brute, filtre, sol). Les protocoles d'analyse sont classiques mais leur combinaison devrait améliorer la surveillance de l'efficacité de l'ANC en vue de progresser dans la connaissance de l'impact environnemental. NB. La principale difficulté, non vérifiée à ce jour, est celle de la méthode de prélèvement de l'eau interstitielle dans le sol : pour l'instant, seuls les rejets des dispositifs drainés pourront être analysés.

- Pour l'évacuation, il faut réaliser un essai d'infiltration sur une parcelle et l'interpréter. Un protocole, très différent de la méthode actuellement pratiquée pour caractériser l'aptitude à l'épuration, est proposé : celui du test d'infiltration de Guelph.

- Pour la rétention, on a besoin d'effectuer un prélèvement de sol et d'y analyser les fines et l'activité enzymatique du sol. Ce protocole complexe était inexistant, il répond à une question émergente.

Des protocoles ont aussi été développés pour évaluer la perception des usagers sur le sol et l'ANC et réaliser des entretiens avec les gestionnaires. Le projet fournit par exemple un formulaire d'enquête auprès des usagers et sa grille de lecture.

- Recommandations

Ces recommandations feront l'objet de fiches méthodologiques courtes : on en compte deux pour l'instant. D'autres recommandations pourraient être proposées pour valoriser les protocoles ci-dessus.

1. Une méthodologie de planification des travaux de réhabilitation de l'ANC peut être mise en place au niveau des SPANC et des agences de l'eau en utilisant les indicateurs proposés. C'est dans cet objectif opérationnel que la démarche d'intégration des indicateurs sera la plus pertinente. Un SIG dédié à l'ANC sera utile.

2. Dans leur mission de conseil et de conception sur site, un problème souvent rencontré par les SPANC est l'évacuation des eaux traitées à travers les sols peu perméables. Une méthode d'amélioration du sol en place par incorporation de cailloux est proposée et peut être expérimentée avec un professionnel de la construction en assainissement.

- Réalisations pratiques et valorisation

Une cartographie d'une formation superficielle (colluvion issue du Portlandien, non représentée sur les cartes géologiques et pédologiques) est disponible.

Un observatoire de l'ANC in situ est opérationnel dans un sol de colluvion. S'il n'est pas financé, il s'arrêtera, mais il peut servir de modèle pour une autre expérimentation ailleurs.

Un jeu d'indicateurs physiques est défini et un système de notation des sols pour leur aptitude à l'ANC a été testé avec succès sur des sites réels.

Un prototype de SIG existe qui utilise les indicateurs, et il sera développé en 2014 : outil d'aide à la décision pour le particulier et outil d'aide à la gestion pour le SPANC et l'agence de l'eau.

Une formation de 6 ECTS est en création au Cnam pour les futurs « spankeurs » et pour les membres des collectivités : elle ouvrira en octobre 2014.

Une communication envers les acteurs de l'ANC dans l'Yonne et en Seine-et-Marne est en train de se mettre en place pour le transfert des recommandations et des protocoles d'acquisition des indicateurs.

Organisation du séminaire de restitution du projet ANCRES à Auxerre, du 13 au 15 juin 2014.

Partenariats mis en place, projetés, envisagés

Les partenariats mis en place en-dehors des équipes du projet sont spécifiques de tâches identifiées au préalable : certaines sont considérées comme des extensions du projet ou des points d'approfondissement, d'autres sont des tâches indispensables au projet. Les partenariats envisagés ont surtout pour but d'offrir un terrain de développement scientifique et d'intensifier la valorisation.

L'expérimentation de filtration sur colonnes de sols avec des eaux enrichies par des produits organiques émergents, tout comme l'expérimentation in situ sur l'abattement des micropolluants dans un tronçon de rivière, dépassaient la disponibilité des équipes du projet et leurs moyens en échantillonnage et en analyse chimique : aussi avons-nous préféré recourir à l'envoi de stagiaires au sein de projets internationaux dédiés à ces approches, à Delft (Pays-Bas) et à Tübingen (Allemagne).

D'autres partenaires internationaux nous ont aidés par la discussion scientifique à travers le montage d'un projet qui n'a pas été conduit jusqu'à la soumission malgré une préparation avancée : citons le professeur Dimitri Xanthoulis, en Belgique (Gembloux), spécialiste de l'assainissement autonome, qui a été membre du jury de la thèse ANCRES de Behzad NASRI, le professeur Dino Torri en Italie, spécialiste en agronomie et en particulier des sols caillouteux (Institut de recherche pour la protection hydrogéologique, Groupe de géomorphologie, Perugia, Italie), et les professeurs Isaac Rodríguez Pereiro et Rafael Cela Torrijos, en Espagne (Galicia), spécialistes en génie analytique des micropolluants organiques.

L'acquisition de données pédologiques collectées en sondages à la tarière et en fosses depuis deux ans est à l'origine du partenariat qui nous lie à la Chambre d'agriculture de Seine-et-Marne. On suit avec attention l'évolution de DONESOL : la CA77 rentre ses données nouvelles chaque année dans cette base et notre indicateur peut être renseigné par ces données existantes.

Le SPANC de la Fédération des eaux de Puisaye-Forterre, dans l'Yonne, nous a fourni des données techniques et humaines et nous a aidé à entrer dans la problématique de l'ANC. Sur l'autre territoire d'étude, nous avons collaboré avec trois SPANCs aux caractéristiques différentes : la Communauté de Communes du Pays de Seine (CCPS) pour la mise en œuvre périurbaine du SPANC, le Syndicat Intercommunal d'Assainissement de la communauté de communes du Moret-Seine-et-Loing (SIDASS), le syndicat Intercommunal d'Assainissement du Nord-Est de la Seine-et-Marne (SIANE).

Le suivi d'une organisation participative, un SAGE, a été effectué sur nos deux territoires d'étude. Ce travail a été d'un grand apport en ce qu'il nous a permis d'être au plus près des préoccupations des élus et des gestionnaires et d'avoir avec eux de nombreux entretiens utiles pour réfléchir aux réponses à apporter. Il en est sorti un cahier des charges qui définit les conditions à remplir par un scientifique pour réussir à rendre service aux gestionnaires dans une problématique de gestion de l'eau et du territoire. A ce stade, il reste général, donc non spécifique de l'ANC, et permet de transformer en méthode l'approche empirique qui a été la nôtre vis-à-vis des SPANCs partenaires.

Des partenariats plus ponctuels avec des sociétés privées nous ont permis d'obtenir des matériaux (les 30 tonnes de sable du massif filtrant, par exemple), des matériels (le marteau piqueur, par exemple), ou encore des logiciels (pour le SIG-ANC). Un partenariat de grande valeur a été noué avec des particuliers à travers les visites au domicile pour remplir (des questionnaires) ou creuser (des trous). Parmi eux, nous sommes infiniment redevables à Guillaume et Carole qui habitent la parcelle du site pilote : sans eux, celui-ci n'aurait pas vu le jour dans le sol de l'Yonne.

Le partenariat avec le Cerema va s'intensifier. Pour l'instant, le Cerema va aborder la question de l'ANC pour la Direction de l'Eau sous 4 volets :

- participation aux commissions de normalisation
- suivi in situ des différentes filières et réflexion autour de l'instrumentation de filières traditionnelles (avec rejet en profondeur)
- retour d'expérience autour de la filière agréée des filtres plantés
- retour d'expérience sur les études de sol aboutissant aux cartes d'aptitudes à l'ANC et au choix des filières avec un zoom sur les essais d'infiltration

Le lien avec ce qui a été fait dans ANCRES est fort et la collaboration va se poursuivre dans le cadre de la mission Biodiversité.

Un partenariat déjà exploré avec l'EHESP avec laquelle on a déjà co-écrit un projet devrait se concrétiser par un nouveau projet sur l'ANC et l'infiltration des eaux traitées issues de STEP.

Le montage d'un partenariat au Maroc (avec l'EMI, Ecole Mohammedia d'Ingénieurs, près de Casablanca, et avec un bureau d'étude local) est en projet avec un bureau d'étude français (Setur).

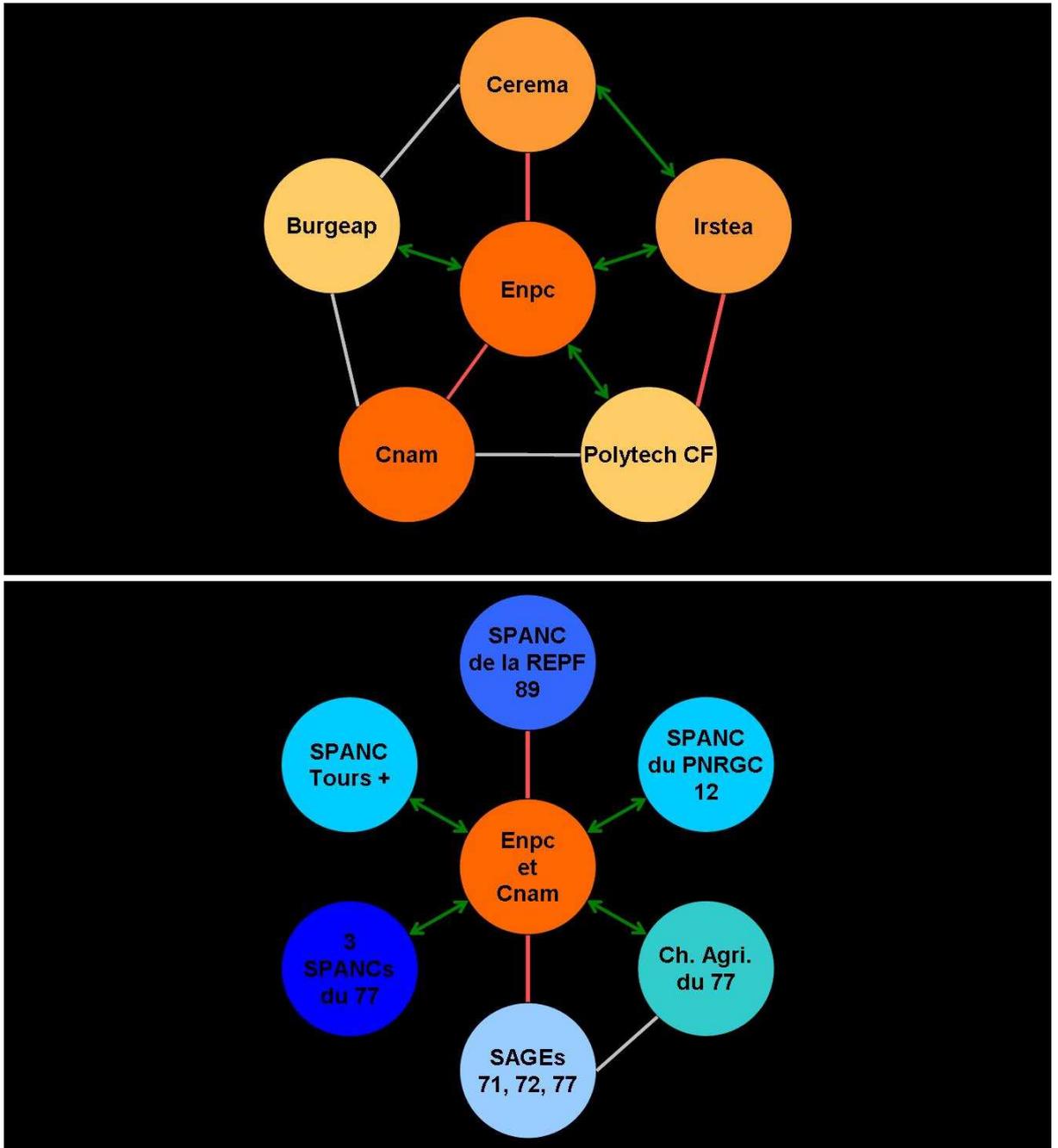


Figure 16. Partenariat. A. Académique. B. Avec des gestionnaires. En rouge : liens fortement structurants préexistants au projet. En gris : liens secondaires préexistants. En verts : liens nouveaux développés pour et pendant le projet.

Liste des opérations de valorisation et de transfert issues du contrat

Publications scientifiques	
Publications scientifiques parues	NEANT
Publications scientifiques à paraître	
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. <i>Canadian Geotechnical Journal</i> (article accepté avec modification en septembre 2013).
Fouché-Grobla O. Renaud St., Nasri B.	Un cahier des charges pour l'outil scientifique au service de l'organisation territoriale participative : cas du SAGE (schéma d'aménagement et de gestion des eaux). <i>Annales de géographie</i> . (article accepté avec modifications en janvier 2014).
Publications scientifiques prévues	
Nasri B., Fouché-Grobla O., Ramier D.	Monitoring of soil water infiltration under a real on-site treatment system; evaluation of physical soil functions. ASCE. Article soumis fin 2013.
Nasri B., Fouché-Grobla O., Torri D.	First assessment of general validity of published pedotransfer functions for saturated hydraulic conductivity in stony soils in France. <i>Canadian Journal of Soil Science</i> . (soumis, mai 2014).
COLLOQUES	
Participations passées à des colloques	
Renaud St., Fouché-Grobla O., Saillé Ch., Nasri B.	Bilan alimentation / prélèvements du bassin versant Arroux-Bourbince. Communication orale au colloque de l'AFEID, <i>GroundWater 2011 : Gestion des ressources en eau souterraine</i> , 14-16 mars 2011, Orléans, France.
Drouet F., Fouché-Grobla O., Saillé Ch., Nasri B.	Perception de l'ANC et du sol par les usagers - Une enquête dans l'Yonne. 8 ^{èmes} Assises Nationales de l'Assainissement Non Collectif, 26-27 octobre 2011, Metz, 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, <i>PedoFract VII : Int. Workshop on Scaling in Particulate and Porous Media Modeling</i> , 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. Poster communication, EuroSoil, 4 th Int. Congress of the ECSSS, 2-6 juillet 2012, Bari, Italie.
Participations futures à des colloques	
Nasri B., Fouché-Grobla O., Ramier D.	Evaluation des fonctions de pédotransfert d'un sol hétérogène, milieu récepteur d'eau usée traitée, sur un site pilote dédié. Communication aux 12 ^{èmes} Journées d'Etude des Sols, 30 juin-04 juillet 2014, Chambéry, France.
Fouché-Grobla O., Vidal N., Saillé Ch., Seidl M.	Aptitude d'un territoire à l'assainissement non collectif : indicateurs SPU (sol – parcelle – usager). 12 ^{èmes} Journées d'Etude des Sols, 30 juin-04 juillet 2014, Chambéry, France.
Nasri B., Dadmehr R., Fouché-Grobla O.	Water table rising consecutive to surface irrigation in alluvial aquifers: predictive use of numerical modelling. 12th Congress of IAEG, 15-19 September, Turin, Italy. (article accepté pour

Nasri B., Fouché-Grobla O., Ramier D., Seidl M., Caupos E.	communication orale). Evaluation du rôle du sol par rapport à l'infiltration des eaux usées traitées en assainissement non collectif. 10 ^{ème} congrès international du GRUTTEE, 29-31 octobre 2014, Limoges, France. (communication en préparation).
THESES	
Thèses passées	
Nasri B.	Evaluation des fonctions de pédotransfert d'un sol hétérogène, milieu récepteur d'eau usée traitée sur un site pilote dédié. 2013.
Naah M.	Impact du développement urbain du bassin versant de la rivière Mingoa sur le Lac Municipal de Yaoundé (Cameroun). 2013.
Thèses en cours	
NEANT	
ARTICLES DE VALORISATION-VULGARISATION	
Articles de valorisation parus	
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.
Berthier E., Ramier D., Nasri B., Fouché-Grobla O.	L'évacuation des eaux usées traitées par le sol. Communication orale à la Journée d'études ANC, FNCCR, 31 mars 2014, Paris.
Articles de valorisation à paraître	
Fouché-Grobla O., Follin J-M.	Le projet ANCRES ou comment améliorer le pilotage des fonctions du sol en ANC. Contribution au numéro spécial sur la recherche à l'ESGT, à paraître en 2014. GéoTop, Revue de l'Union des ingénieurs ESGT.
Articles de valorisation prévus	
NEANT	
AUTRES ACTIONS VERS LES MEDIAS	
Actions vers les médias effectuées	Interview de Ch. Saillé pour Eau-magazine, fin 2011, 3 p.
Actions vers les médias prévues	Annonce du séminaire ANCRES à Auxerre (Yonne), du 13 au 15 juin 2014 .
ENSEIGNEMENT – FORMATION	
Enseignement / formation dispensés	- Quelques cours sur l'ANC dans une UE existante en 2013. - Le coordinateur a été Examinateur de la thèse de Ghizlane BENOSMAN – <i>Migration de particules fines dans un milieu poreux : application au phénomène de colmatage</i> . Ecole Centrale de Paris, le 5 juillet 2012.
Enseignement/formation prévus	- Création d'une UE de 6 ECTS à ouvrir au Cnam en 2014. - Un jour de formation sur l'ANC à l'ONA (Algérie) en 2014.
EXPERTISES	
Expertise menée n°1	Réalisation d'un test de type Porchet (x4) mais à niveau variable entre -1 m et -1,5 m pour une étude d'ANC dans un sol de faible perméabilité (craie altérée, $k = 1,6 \text{ à } 8,5 \times 10^{-7} \text{ m/s}$), Val d'Oise. Collaboration avec le BE GéoExperts, Cité Descartes, Champs-sur-Marne.
Expertise menée n°2	Etude d'ANC en zone de montagne dans un sol de forte perméabilité (blocs dans une matrice grossière, $k = 40 \text{ à } 60 \text{ mm/h}$), Isère.
Expertise menée n°3	Diagnostic et préconisation de réhabilitation sur un dispositif ANC non conforme dans un sol argileux suite à constat permanent d'eau stagnante, Gers.

Expertises en cours	NEANT
Expertises prévues	NEANT
Méthodologies produites :	
P1, P2, P3 et P4	METHODOLOGIES (GUIDES...) Protocoles d'acquisition de plusieurs indicateurs.
Livrable	P1. Analyser un jeu de paramètres chimiques dans l'eau à plusieurs stades du traitement.
Livrable	P2. Réaliser l'essai d'infiltration sur une parcelle et l'interpréter.
Livrable	P3. Effectuer le prélèvement de sol et analyser les fines et l'activité enzymatique.
Livrable	P4. Enquêter auprès des usagers : questions et grille de lecture.
Livrable	P5. Procédure de sélection des meilleurs couplages de FPT pour chaque type de sol d'un territoire.
Livrable	P6. Système de notation d'aptitude d'un sol sur critères physiques pour différents services rendus par le sol en ANC.
Méthodologies en élaboration :	
M1, M2, M3	
Livrable	M1. Planification des travaux de réhabilitation de l'ANC sur le territoire d'un SPANC en fonction des indicateurs physiques et du système de notation proposés.
Livrable	M2. Amélioration d'un sol peu perméable par incorporation de cailloux pour faciliter l'évacuation des eaux traitées.
Livrable	M3. Une méthode de cartographie d'une formation superficielle (colluvion de pédologie spécifique) non représentée sur les cartes géologiques et pédologiques.
	M4. Sectorisation de la faisabilité de l'ANC prenant en compte d'autres indicateurs que physiques.
AUTRES REALISATIONS	
Un observatoire de l'ANC	Un site pilote instrumenté pour la surveillance hydrique et chimique du dispositif ANC dans le sol
Un prototype d'outil d'aide à la décision et à la gestion de l'ANC	Un SIG en webmapping pour la faisabilité et la planification de l'ANC : animation vidéo illustrative.
Outil de calcul sur les fissures dans l'argile et autres objets 3D	Outil de calcul 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.
CITATION DU PROJET DANS UN OUVRAGE PARU	
Théorie et pratique de la géotechnique (Plumelle et al., 2013)	Le projet ANCREs est cité sur le sujet des essais d'infiltration, au chapitre 16 de ce manuel de géotechnique paru en 2013.
RAPPORTS	
Rapports séparés en sciences sociales et politiques	
Livré	R1. Histoire de la réglementation de l'assainissement autonome
Livrable	R2. Enquête sur la perception du sol et de l'ANC par l'utilisateur.
Livrable	R3. Les modes de la conflictualité dans la mise en place de la nouvelle politique publique de l'ANC.